Environment Canada | Environnement Canada
Atmospheric Environment Service | Service de l'environnement atmosphérique

GREAT LAKES SURFACE WATER TEMPERATURE CLIMATOLOGY

TEMPÉRATURES DES EAUX DE SURFACE DES GRANDS LACS : CARACTÉRISTIQUES CLIMATOLOGIQUES

G.J. IRBE

CLIMATOLOGICAL STUDIES
NUMBER 43

ÉTUDES CLIMATOLOGIQUES
NUMÉRO 43

U.D.C.551.58:285:71:73

Canada

92-05540/

Minister of Supply and Services Canada 1992

Available in Canada Through

Associated Bookstores
and other booksellers

or by mail from

Canadian Government Publishing Centre
Supply and Services Canada
Ottawa, Canada K1A 0S9

Catalogue No.En57-7/43
ISBN 0-660-57345-8
ISSN 0068-7715

Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1992

En vente au Canada par l'entremise des

Librairies asociées
et autres libraires

ou par la poste au :

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa (Canada) K1A 0S9

No de catalogue En57-7/43
ISBN 0-660-57345-8
ISSN 0068-7715

This paper contains a minimum of 50% recycled fibres,
including 10% post-consumer fibres.

Ce papier contient un minimum de 50% de fibres recyclées
dont 10% de fibres recyclées après consommation.

ABSTRACT

The long-term surface water temperature climatology of the Great Lakes, excluding Lake Michigan, has been derived from radiometric (remotely-sensed) data. The data were collected by Airborne Radiation Thermometer (ART) surveys from 1966 to 1979. From 1980 onward, water temperatures were retrieved from Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) infrared scanner data of TIROS-N polar-orbiting environmental satellites operated by the United States National Oceanic and Atmospheric Administration.

A computer data file was created by extracting temperature values from the original surveys for a set of grid points on each lake. Average temperature and standard deviation were calculated at the grid point locations for each day of the year by statistical interpolation methods. The results were in turn used to generate beginning-of-month and mid-month maps of the average temperature distribution and its variability, and graphs and tables of the annual temperature cycle.

The surface water temperature regimes of the Great Lakes, portrayed by the maps, graphs and tables, are discussed with reference to the physical characteristics of the water masses and the influence of meteorological factors on the water temperature patterns.

RÉSUMÉ

On a déterminé les caractéristiques climatologiques à long terme des températures des eaux de surface des Grands Lacs, à l'exclusion du Lac Michigan, à partir de données radiométriques (de télédétection). Les données ont été prélevées dans le cadre de levés réalisés entre 1966 et 1979 au moyen de thermomètres de rayonnement aéroportés (TRA). Depuis 1980, les températures de l'eau ont été établies à partir de données infrarouges obtenues par un radiomètre perfectionné à très haute résolution (AVHRR) des satellites à orbite polaire pour l'étude du milieu (TIROS-N), exploités par la National Oceanic and Atmospheric Administration des États-Unis.

Un fichier de données informatisées a été créé par l'extraction des valeurs de températures des premiers levés pour une série de points de grille dans chacun des lacs. La température et l'écart type moyens ont été calculés à chacun des points de grille pour chacun des jours de l'année au moyen de méthodes d'interpolation statistique. Ces résultats ont servi à produire des cartes (début et milieu du mois) de la distribution des températures moyennes et de leur variabilité ainsi que des graphiques et tableaux illustrant le cycle annuel des températures.

On traite ici des régimes de température des eaux de surface, illustrés par les cartes, graphiques et tableaux, en fonction des caractéristiques physiques des masses d'eau et de l'influence des facteurs météorologiques.

ACKNOWLEDGEMENTS

Creation of the Great Lakes water temperature data base spans more than twenty years of dedicated and persevering effort; during the years of airborne operations the data were collected, at times, under conditions of great physical discomfort and hazardous circumstances.

Many individuals have participated in the program over this period of time, and several supervisors of the Lakes and Marine Section have been in over-all charge of the program. All contributed their share to keeping the program operational over the years.

Special recognition is due to: T.L. Richards, the first supervisor of the Lakes and Marine Section, who was responsible for the development and initial operations of the ART program; R.W. Shaw, for developing the technique for correcting infrared radiances for atmospheric attenuation, without which the ART program could not operate; D.G. Massey and T.H. Cutler, who endured through hundreds of hours of low-level flight, sometimes pushing themselves and the crew to the limits, in order to complete a survey in weather conditions when sensible ducks would not venture forth; W.D. Hogg, R.K. Cross and A.J. Hanssen, for developing the computer programs for extracting water temperatures from satellite data; J.J. Morcrette, who adapted the atmospheric correction program for use on satellite-derived temperatures; A.A. Aldunate, supervisor of the Satellite Data Laboratory, who did everything humanly possible, and more, to keep the satellite data coming for 365 days of the year.

Finally, credit for bringing this report into print belongs to Linda Mortsch and Grace Koshida of the Climate Adaptation Branch of the Canadian Climate Centre who undertook the editorial responsibilities in steering the report through the publication process; to Tom Chivers, Brian Taylor and Gordon Young for drafting the numerous maps and figures; to Hao Le for the satellite picture for the cover; and to Krystyna Czaja and Steve d'Silva who prepared the layout.

REMERCIEMENTS

La création de la banque de données sur les températures des Grands Lacs couvre plus de vingt ans de persévérance et de dévouement; au cours des années où les données ont été prélevées au moyen d'aéronefs, cela s'est souvent fait au prix d'un grand inconfort physique et de situations particulièrement dangereuses.

Nombre de personnes ont participé au programme au cours de cette période, et plusieurs chefs se sont succédés à la section maritime et des lacs et ont été responsables du programme. Chacun de ces chefs a fait sa part pour que le programme demeure opérationnel au cours des ans.

Nous aimerions remercier particulièrement : T.L. Richards, le premier chef de la Section des applications lacustres et maritimes, responsable de l'élaboration et de l'exploitation première du programme de TRA; R.W. Shaw, qui a mis au point la technique de correction de la luminance énergétique de l'infrarouge pour l'affaiblissement atmosphérique, sans laquelle le programme de TRA ne pourrait fonctionner; D.G. Massey et T.H. Cutler, qui ont enduré des centaines d'heures de vol à basse altitude, desquelles parfois leur équipage et eux-mêmes sortaient exténués, afin de compléter un levé par un temps à ne pas mettre un chien dehors; W.D. Hogg, R.K. Cross et A.J. Hanssen, qui ont élaboré les programmes informatisés d'extraction des températures de l'eau à partir des données de satellite; J.J. Morcrette, qui a adapté le programme de correction atmosphérique aux températures dérivées des données satellites; A.A. Aldunate, chef du laboratoire de données satellites, qui a fait tout ce qu'il était humainement possible de faire, et même plus, pour garantir l'entrée des données de satellites 365 jours par année.

Finalement, le mérite d'avoir mené à bien la publication de ce rapport revient, à Linda Mortsch et Grace Koshida de la Direction de l'adaptation climatologique du Centre climatologique canadien pour la gestion du projet; à Tom Chivers, Brian Taylor et Gordon Young pour le dessin des nombreuses cartes et illustrations; à Hao Le pour la couverture; et à Krystyna Czaja et Steve d'Silva celui d'avoir fait la mise en pages du texte.

TABLE OF CONTENTS

Page

ABSTRACT iii

ACKNOWLEDGEMENTS v

INTRODUCTION 1

1. DATA SOURCES, ANALYSIS AND PRESENTATION 7

1.1 Description of the data 8
1.2 Intercomparisons and accuracy of data 12
1.3 Data processing 14
1.4 Interpretation of maps and tables 19

2. GREAT LAKES WATER TEMPERATURE REGIME 21

2.1 Great Lakes annual surface water temperature cycle 22
2.2 Great Lakes surface water temperature patterns 26
2.3 Great Lakes seasonal thermal structure 29

2.3.1 Winter stratification 30
2.3.2 Spring overturn 32
2.3.3 Summer stratification 36
2.3.4 Fall overturn 37

3. LAKE ERIE WATER TEMPERATURE REGIME 41

3.1 Lake Erie annual temperature cycle 42
3.2 Lake Erie surface water temperature structure 42

Map 3-3 January 1 48
Map 3-4 January 16 48
Map 3-5 February 1 48
Map 3-6 February 15 52
Map 3-7 March 1 52
Map 3-8 March 16 55

TABLE DES MATIÈRES

Page

RÉSUMÉ iii

REMERCIEMENTS v

INTRODUCTION 1

1. SOURCES, ANALYSE ET PRÉSENTATION DES DONNÉES 7

1.1 Description des données 8
1.2 Comparaison des données et fiabilité 12
1.3 Traitement des données 14
1.4 Interprétation des cartes et des tableaux 19

2. RÉGIME DES TEMPÉRATURES DE L'EAU DES GRANDS LACS 21

2.1 Cycle annuel des températures des eaux de surface des Grands Lacs 22
2.2 Configurations des températures des eaux de surface des Grands Lacs 26
2.3 Structure thermique saisonnière des Grands Lacs 29

2.3.1 Stratification hivernale 30
2.3.2 Renversement printanier 32
2.3.3 Stratification estivale 36
2.3.4 Renversement automnal 37

3. RÉGIME DES TEMPÉRATURES DE L'EAU DU LAC ÉRIÉ 41

3.1 Cycle annuel des températures du lac Érié 42
3.2 Structure des températures des eaux de surface du lac Érié 42

Carte 3-3 1er janvier 48
Carte 3-4 16 janvier 48
Carte 3-5 1er février 48
Carte 3-6 15 février 52
Carte 3-7 1er mars 52
Carte 3-8 16 mars 55

Page

Map 3-9 April 1 55
Map 3-10 April 16 55
Map 3-11 May 1 59
Map 3-12 May 16 59
Map 3-13 June 1 62
Map 3-14 June 16 62
Map 3-15 July 1 62
Map 3-16 July 16 62
Map 3-17 August 1 67
Map 3-18 August 16 67
Map 3-19 September 1 67
Map 3-20 September 16 67
Map 3-21 October 1 72
Map 3-22 October 16 72
Map 3-23 November 1 72
Map 3-24 November 16 72
Map 3-25 December 1 72
Map 3-26 December 16 78

4. LAKE ONTARIO WATER TEMPERATURE REGIME 81

4.1 Lake Ontario annual temperature cycle 82
4.2 Lake Ontario surface water temperature structure 86

Map 4-3 January 1 86
Map 4-4 January 16 86
Map 4-5 February 1 86
Map 4-6 February 15 92
Map 4-7 March 1 92
Map 4-8 March 16 95
Map 4-9 April 1 95
Map 4-10 April 16 98
Map 4-11 May 1 98
Map 4-12 May 16 98
Map 4-13 June 1 102
Map 4-14 June 16 102

Page

Carte 3-9 1er avril 55
Carte 3-10 16 avril 55
Carte 3-11 1er mai 59
Carte 3-12 16 mai 59
Carte 3-13 1er juin 62
Carte 3-14 16 juin 62
Carte 3-15 1er juillet 62
Carte 3-16 16 juillet 62
Carte 3-17 1er août 67
Carte 3-18 16 août 67
Carte 3-19 1er septembre 67
Carte 3-20 16 septembre 67
Carte 3-21 1er octobre 72
Carte 3-22 16 octobre 72
Carte 3-23 1er novembre 72
Carte 3-24 16 novembre 72
Carte 3-25 1er décembre 72
Carte 3-26 16 décembre 78

4. RÉGIME DES TEMPÉRATURES DE L'EAU DU LAC ONTARIO . . 81

4.1 Cycle annuel des températures du lac Ontario 82
4.2 Structure des températures des eaux de surface du lac Ontario . . 86

Carte 4-3 1er janvier 86
Carte 4-4 16 janvier 86
Carte 4-5 1er février 86
Carte 4-6 15 février 92
Carte 4-7 1er mars 92
Carte 4-8 16 mars 95
Carte 4-9 1er avril 95
Carte 4-10 6 avril 98
Carte 4-11 1er mai 98
Carte 4-12 16 mai 98
Carte 4-13 1er juin 102
Carte 4-14 16 juin 102

Page

Map 4-15 July 1 105
Map 4-16 July 16 105
Map 4-17 August 1 109
Map 4-18 August 16 109
Map 4-19 September 1 109
Map 4-20 September 16 113
Map 4-21 October 1 113
Map 4-22 October 16 113
Map 4-23 November 1 113
Map 4-24 November 16 113
Map 4-25 December 1 119
Map 4-26 December 16 119

5. LAKE HURON - GEORGIAN BAY TEMPERATURE REGIME ... 121

5.1 Annual Temperature Cycle 122
5.1.1 Lake Huron annual temperature cycle 122
5.1.2 Georgian Bay annual temperature cycle 126
5.2 Lake Huron and Georgian Bay surface water temperature structure 130

Map 5-3 January 1 130
Map 5-4 January 16 135
Map 5-5 February 1 137
Map 5-6 February 15 137
Map 5-7 March 1 140
Map 5-8 March 16 140
Map 5-9 April 1 143
Map 5-10 April 16 145
Map 5-11 May 1 147
Map 5-12 May 16 149
Map 5-13 June 1 149
Map 5-14 June 16 152
Map 5-15 July 1 152
Map 5-16 July 16 152

Page

Carte 4-15 1er juillet 105
Carte 4-16 16 juillet 105
Carte 4-17 1er août 105
Carte 4-18 16 août 109
Carte 4-19 1er septembre 109
Carte 4-20 16 septembre 109
Carte 4-21 1er octobre 113
Carte 4-22 16 octobre 113
Carte 4-23 1er novembre 113
Carte 4-24 16 novembre 113
Carte 4-25 1er décembre 113
Carte 4-26 16 décembre 119

5. RÉGIME DES TEMPÉRATURES DE L'EAU DU LAC HURON ET DE LA BAIE GEORGIENNE 121

5.1 Cycle annuel des températures 122
5.1.1 Cycle annuel des températures du lac Huron 122
5.1.2 Cycle annuel des températures de la baie Georgienne . 126
5.2 Structure des températures des eaux de surface du lac Huron et de la baie Georgienne 130

Carte 5-3 1er janvier 130
Carte 5-4 16 janvier 135
Carte 5-5 1er février 137
Carte 5-6 15 février 137
Carte 5-7 1er mars 140
Carte 5-8 16 mars 140
Carte 5-9 1er avril 143
Carte 5-10 16 avril 145
Carte 5-11 1er mai 147
Carte 5-12 16 mai 149
Carte 5-13 1er juin 149
Carte 5-14 16 juin 152
Carte 5-15 1er juillet 152
Carte 5-16 16 juillet 152

Page

Map 5-17 August 1 156
Map 5-18 August 16 158
Map 5-19 September 1 158
Map 5-20 September 16 161
Map 5-21 October 1 161
Map 5-22 October 16 161
Map 5-23 November 1 165
Map 5-24 November 16 165
Map 5-25 December 1 165
Map 5-26 December 16 169

6. LAKE SUPERIOR WATER TEMPERATURE REGIME 171

6.1 Lake Superior annual temperature cycle 172
6.2 Lake Superior surface water temperature structure 176

Map 6-3 January 1 176
Map 6-4 January 16 180
Map 6-5 February 1 180
Map 6-6 February 15 180
Map 6-7 March 1 184
Map 6-8 March 16 184
Map 6-9 April 1 187
Map 6-10 April 16 187
Map 6-11 May 1 190
Map 6-12 May 16 190
Map 6-13 June 1 190
Map 6-14 June 16 194
Map 6-15 July 1 196
Map 6-16 July 16 198
Map 6-17 August 1 198
Map 6-18 August 16 201
Map 6-19 September 1 201
Map 6-20 September 16 204
Map 6-21 October 1 204

Page

Carte 5-17 1er août 156
Carte 5-18 16 août 158
Carte 5-19 1er septembre 158
Carte 5-20 16 septembre 161
Carte 5-21 1er octobre 161
Carte 5-22 16 octobre 161
Carte 5-23 1er novembre 165
Carte 5-24 16 novembre 165
Carte 5-25 1er décembre 165
Carte 5-26 16 décembre 169

6. RÉGIME DES TEMPÉRATURES DE L'EAU DU LAC SUPÉRIEUR . 171

6.1 Cycle annuel des températures du lac Supérieur 172
6.2 Structure des températures des eaux de surface du lac Supérieur 176

Carte 6-3 1er janvier 176
Carte 6-4 16 janvier 180
Carte 6-5 1er février 180
Carte 6-6 15 février 180
Carte 6-7 1er mars 184
Carte 6-8 16 mars 184
Carte 6-9 1er avril 187
Carte 6-10 16 avril 187
Carte 6-11 1er mai 190
Carte 6-12 16 mai 190
Carte 6-13 1er juin 190
Carte 6-14 16 juin 194
Carte 6-15 1er juillet 196
Carte 6-16 16 juillet 198
Carte 6-17 1er août 198
Carte 6-18 16 août 201
Carte 6-19 1er septembre 201
Carte 6-20 16 septembre 204
Carte 6-21 1er octobre 204

Page

Map 6-22 October 16 204
Map 6-23 November 1 204
Map 6-24 November 16 209
Map 6-25 December 1 209
Map 6-26 December 16 209

7. REFERENCES 213

Page

Carte 6-22 16 octobre 204
Carte 6-23 1er novembre 204
Carte 6-24 16 novembre 209
Carte 6-25 1er décembre 209
Carte 6-26 16 décembre 209

7. RÉFÉRENCES 213

LIST OF TABLES

TABLE		Page
1-1	Intercomparisons of SRT (Ts) and buoy (Tb) temperatures	13
2-1	Great Lakes physiographic data	24
2-2	Normal monthly and annual mean surface water temperature in the Great Lakes, Deg. C	25
2-3	Average rate of daily surface water temperature change and normal maximum and minimum temperature in the Great Lakes, Deg. C	25
3-1	Lake Erie daily mean surface water temperature (Deg. C)	43
4-1	Lake Ontario daily mean surface water temperature (Deg. C)	83
5-1A	Lake Huron daily mean surface water temperature (Deg. C)	123
5-1B	Georgian Bay daily mean surface water temperature (Deg. C)	127
6-1	Lake Superior daily mean surface water temperature (Deg. C)	173

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU		Page
1-1	Comparaison des températures de bouées (Tb) et de TRS (Ts)	13
2-1	Données physiographiques sur les Grands Lacs	24
2-2	Températures moyennes annuelles et mensuelles normales des eaux de surface des Grands Lacs (degrés C)	25
2-3	Taux moyen de variation quotidienne de la température de surface des eaux et minimum et maximum normaux dans les Grands Lacs (degrés C)	25
3-1	Températures quotidiennes moyennes des eaux de surface du lac Érié (degrés C)	44
4-1	Températures quotidiennes moyennes des eaux de surface du lac Ontario (degrés C)	84
5-1A	Températures quotidiennes moyennes des eaux de surface du lac Huron (degrés C)	124
5-1B	Températures quotidiennes moyennes des eaux de surface de la baie Georgienne (degrés C)	128
6-1	Températures quotidiennes moyennes des eaux de surface du lac Supérieur (degrés C)	174

LIST OF FIGURES

FIGURE — Page

1-1 Lake Huron Grid Point #43: Plot of 284 available data points and temperature curve generated by regression 16

2-1 Change in thermal structure along north shore of Lake Ontario after a northwesterly wind impulse 28

2-2 Great Lakes seasonal thermal structure 29

2-3 Structure of the "thermal bar" 33

2-4 Formation of summer stratification 35

3-1 Lake Erie annual surface water temperature curve 45

4-1 Lake Ontario annual surface water temperature curve 85

5-1A Lake Huron annual surface water temperature curve 125

5-1B Georgian Bay annual surface water temperature curve 129

6-1 Lake Superior annual surface water temperature curve 175

LISTE DES FIGURES

FIGURE — Page

1-1 Point de grille n° 43, lac Huron : Tracé des 284 données ponctuelles disponibles et courbe des températures obtenues au moyen d'une régression 16

2-1 Variation de la structure thermique le long de la rive nord du lac Ontario causée par un épisode de vents du nord-ouest 28

2-2 Structure thermique saisonnière des Grands Lacs 29

2-3 Structure de la "barrière thermique" 33

2-4 Formation de la stratification estivale 35

3-1 Courbe du cycle annuel des températures des eaux de surface du lac Érié 45

4-1 Courbe du cycle annuel des températures des eaux de surface du lac Ontario 85

5-1A Courbe du cycle annuel des températures des eaux de surface du lac Huron 125

5-1B Courbe du cycle annuel des températures des eaux de surface de la baie Georgienne 129

6-1 Courbe du cycle annuel des températures des eaux de surface du lac Supérieur 175

LIST OF MAPS

MAP		Page
2-1	Chart of currents in the Great Lakes, following Harrington	27
3-1	Lake Erie grid point locations	46
3-2	Lake Erie bathymetry	47
	Lake Erie average surface temperature and variability distribution on:	
3-3	January 01	49
3-4	January 16	50
3-5	February 01	51
3-6	February 15	53
3-7	March 01	54
3-8	March 16	56
3-9	April 01	57
3-10	April 16	58
3-11	May 01	60
3-12	May 16	61
3-13	June 01	63
3-14	June 16	64
3-15	July 01	65
3-16	July 16	66
3-17	August 01	68
3-18	August 16	69
3-19	September 01	70
3-20	September 16	71
3-21	October 01	73
3-22	October 16	74
3-23	November 01	75
3-24	November 16	76
3-25	December 01	77
3-26	December 16	79

LISTE DES CARTES

CARTE		Page
2-1	Carte des courants dans les Grands Lacs, d'après Harrington	27
3-1	Emplacement des points de grille du lac Érié	46
3-2	Lac Érié bathymétrie	47
	Distribution des moyennes et variabilités de la température de l'eau à la surface du lac Érié :	
3-3	janvier 1er	49
3-4	janvier 16	50
3-5	février 1er	51
3-6	février 15	53
3-7	mars 1er	54
3-8	mars 16	56
3-9	avril 1er	57
3-10	avril 16	58
3-11	mai 1er	60
3-12	mai 16	61
3-13	juin 1er	63
3-14	juin 16	64
3-15	juillet 1er	65
3-16	juillet 16	66
3-17	août 1er	68
3-18	août 16	69
3-19	septembre 1er	70
3-20	septembre 16	71
3-21	octobre 1er	73
3-22	octobre 16	74
3-23	novembre 1er	75
3-24	novembre 16	76
3-25	décembre 1er	77
3-27	décembre 16	79

MAP		Page
4-1	Lake Ontario grid point locations	87
4-2	Lake Ontario bathymetry	88
	Lake Ontario average surface temperature and variability distribution on:	
4-3	January 01	89
4-4	January 16	90
4-5	February 01	91
4-6	February 15	93
4-7	March 01	94
4-8	March 16	96
4-9	April 01	97
4-10	April 16	99
4-11	May 01	100
4-12	May 16	101
4-13	June 01	103
4-14	June 16	104
4-15	July 01	106
4-16	July 16	107
4-17	August 01	108
4-18	August 16	110
4-19	September 01	111
4-20	September 16	112
4-21	October 01	114
4-22	October 16	115
4-23	November 01	116
4-24	November 16	117
4-25	December 01	118
4-26	December 16	120
5-1	Lake Huron-Georgian Bay grid point locations	131
5-2A	Lake Huron bathymetry	132

CARTE		Page
4-1	Emplacement des points de grille du lac Ontario	87
4-2	Lac Ontario bathymétrie	88
	Distribution des moyennes et variabilités de la température de l'eau à la surface du lac Ontario :	
4-3	janvier 1er	89
4-4	janvier 16	90
4-5	février 1er	91
4-6	février 15	93
4-7	mars 1er	94
4-8	mars 16	96
4-9	avril 1er	97
4-10	avril 16	99
4-11	mai 1er	100
4-12	mai 16	101
4-13	juin 1er	103
4-14	juin 16	104
4-15	juillet 1er	106
4-16	juillet 16	107
4-17	août 1er	108
4-18	août 16	110
4-19	septembre 1er	111
4-20	septembre 16	112
4-21	octobre 1er	114
4-22	octobre 16	115
4-23	novembre 1er	116
4-24	novembre 16	117
4-25	décembre 1er	118
4-26	décembre 16	120
5-1	Emplacement des points de grille du lac Huron et de la baie Georgienne	131
5-2A	Lac Huron bathymétrie	132

MAP

Page

5-2B Georgian Bay bathymetry 133

Lake Huron-Georgian Bay average surface water temperature and variability distribution on:

5-3 January 01 134
5-4 January 16 136
5-5 February 01 138
5-6 February 15 139
5-7 March 01 141
5-8 March 16 142
5-9 April 01 144
5-10 April 16 146
5-11 May 01 148
5-12 May 16 150
5-13 June 01 151
5-14 June 16 153
5-15 July 01 154
5-16 July 16 155
5-17 August 01 157
5-18 August 16 159
5-19 September 01 160
5-20 September 16 162
5-21 October 01 163
5-22 October 16 164
5-23 November 01 166
5-24 November 16 167
5-25 December 01 168
5-26 December 16 170

6-1 Lake Superior grid point locations 177

CARTE

Page

5-2B Baie Georgienne bathymétrie 133

Distribution des moyennes et variabilités de la température de l'eau à la surface du lac Huron et de la baie Georgienne :

5-3 janvier 1er 134
5-4 janvier 16 136
5-5 février 1er 138
5-6 février 15 139
5-7 mars 1er 141
5-8 mars 16 142
5-9 avril 1er 144
5-10 avril 16 146
5-11 mai 1er 148
5-12 mai 16 150
5-13 juin 1er 151
5-14 juin 16 153
5-15 juillet 1er 154
5-16 juillet 16 155
5-17 août 1er 157
5-18 août 16 159
5-19 septembre 1er 160
5-20 septembre 16 162
5-21 octobre 1er 163
5-22 octobre 16 164
5-23 novembre 1er 166
5-24 novembre 16 167
5-25 décembre 1er 168
5-26 décembre 16 170

6-1 Emplacement des points de grille du lac Supérieur 177

MAP		Page
6-2	Lake Superior bathymetry	178
	Lake Superior average surface temperature and variability distribution on:	
6-3	January 01	179
6-4	January 16	181
6-5	February 01	182
6-6	February 15	183
6-7	March 01	185
6-8	March 16	186
6-9	April 01	188
6-10	April 16	189
6-11	May 01	191
6-12	May 16	192
6-13	June 01	193
6-14	June 16	195
6-15	July 01	197
6-16	July 16	199
6-17	August 01	200
6-18	August 16	202
6-19	September 01	203
6-20	September 16	205
6-21	October 01	206
6-22	October 16	207
6-23	November 01	208
6-24	November 16	210
6-25	December 01	211
6-26	December 16	212

CARTE		Page
6-2	Lac Supérieur bathymétrie	178
	Distribution des moyennes et variabilités de la température de l'eau à la surface du lac Supérieur :	
6-3	janvier 1er	179
6-4	janvier 16	181
6-5	février 1er	182
6-6	février 15	183
6-7	mars 1er	185
6-8	mars 16	186
6-9	avril 1er	188
6-10	avril 16	189
6-11	mai 1er	191
6-12	mai 16	192
6-13	juin 1er	193
6-14	juin 16	195
6-15	juillet 1er	197
6-16	juillet 16	199
6-17	août 1er	200
6-18	août 16	202
6-19	septembre 1er	203
6-20	septembre 16	205
6-21	octobre 1er	206
6-22	octobre 16	207
6-23	novembre 1er	208
6-24	novembre 16	210
6-25	décembre 1er	211
6-26	décembre 16	212

INTRODUCTION

Large fresh-water reservoirs - such as the Great Lakes - have always been a natural resource of great economic and cultural value to man. Throughout history, population centres have clustered on their shores for obvious reasons. Large lakes are guaranteed sources of water for consumption and irrigation, and they serve as convenient waste disposal sites. They are the avenues for economical transport of goods and people, and bountiful providers of food from fish and waterfowl.

This century has seen rapid growth in population, industry and economic activity in the Great Lakes region. Requirements for basic knowledge about the resource - how large is it and what factors affect its supply - arose with the increased demands on Great Lakes water. Great Lakes water levels are known to go through periods of upward and downward trends in response to changes in the general climatic conditions. Anticipating climate changes and assessing the consequences are particularly critical concerns in the Great Lakes user community.

A second critical factor for the Great Lakes is environmental degradation, which became apparent after decades of ever-intensifying and largely unrestricted multifarious use of the resource. In the second half of this century it became obvious that continued unabated abuse would lead to irreparable damage to the ecosystem. It was also realized that a full understanding of how the natural components of the system interact and how man's activities perturb and damage the system was needed in order to ameliorate conditions and stop the degradation in progress.

Starting in the 1960s, the environmental alarm fostered the political will to fund thorough scientific investigations of the physical and biological components of the Great Lakes system, from the atmosphere down to the benthos. The program of regular monitoring of Great Lakes surface water temperatures, undertaken by the Atmospheric Environment Service (AES) of the Department of Environment, is part of the general effort to address the climatic and environmental concerns.

Surface water temperature is an essential parameter in many physical and biological studies of the Great Lakes. The expanding research efforts demanded two kinds of lake-wide water temperature data. Real-time surface water temperature data are required in investigations of on-going processes and

INTRODUCTION

Les grands réservoirs d'eau douce - comme les Grands Lacs - ont toujours constitué une ressource naturelle à valeur économique et culturelle importante. Au cours des temps, des centres de population se sont développés sur leurs rives, pour des raisons évidentes. Les Grands Lacs sont des sources sûres d'eau de consommation et d'irrigation et constituent de plus des sites pratiques d'élimination des déchets. Les lacs sont des voies de transport économique des gens et des marchandises et constituent une riche source d'aliments pour les poissons et la sauvagine.

Au cours du XXe siècle, la région des Grands Lacs a connu une croissance rapide de la population et des activités économiques et industrielles. La demande en eau des Grands Lacs s'étant accrue, il est devenu nécessaire de mieux connaître cette ressource, son importance et les facteurs qui la modifient. On sait que les niveaux des Grands Lacs s'exhaussent et s'abaissent en réaction à des variations des conditions climatiques générales. Il est donc particulièrement important que les divers utilisateurs des Grands Lacs puissent prévoir les variations climatiques et en évaluer les conséquences.

Le problème de la dégradation environnementale est également apparu très important pour les Grands Lacs, après des décennies de multiples utilisations essentiellement illimitées et croissantes de cette ressource. Au cours de la deuxième moitié du siècle, il est apparu que, si l'utilisation immodérée qu'on faisait de cette ressource se poursuivait, cela entraînerait des dommages irréversibles à l'écosystème. On s'est également rendu compte qu'il était nécessaire de comprendre comment les composantes naturelles du système interagissent et comment les activités anthropiques le perturbent et endommagent afin d'améliorer les conditions et de stopper la dégradation.

Depuis les années 1960, le cri d'alarme lancé par la population se traduit par une volonté politique de subventionner des études scientifiques complètes des composantes physiques et biologiques du système des Grands Lacs, depuis l'atmosphère jusqu'au benthos. Le programme de surveillance en continu des températures des eaux de surface des Grands Lacs, entrepris par le Service de l'environnement atmosphérique (SEA) du ministère de l'Environnement, fait partie de l'effort général destiné à traiter les problèmes environnementaux et climatiques.

La température des eaux de surface constitue un paramètre essentiel de nombre d'études biologiques et physiques des Grands Lacs. Des recherches de plus en plus poussées nécessitaient deux types de données de températures des eaux de surface à l'échelle de tout un lac : les données en temps réel,

currently prevailing conditions - for instance: interaction of the atmosphere with the lake surfaces and circulation patterns within the water masses.

Other studies require a definition of the long-term average (climatological) surface temperature field, in order to establish the common, or normal state of various environmental parameters and processes, and to detect trends and anomalous behaviour in these parameters and processes. Definition of reliable climatological water temperature attributes and scales requires, first of all, systematic collection of data over a period of time of the order of decades.

Unfortunately, neither demand could be met fully by the conventional method of surveying the Great Lakes temperatures from ships. A properly executed ship survey, encompassing a cruise pattern of many transects of the lake, requires several days to survey a body of water the size of one of the Great Lakes. Therefore, ships' water temperature data lack the required synopticity. But aside from this inadequacy in the data, the main constraint on a project of sustained, regularly staged ships' surveys is the prohibitive cost of operations. For this reason, the existing historical ships' survey water temperature data records on the Great Lakes are short and sporadic, having been collected in the course of special projects of limited duration.

To solve the water temperature data collection problem, the Hydrometeorology and Marine Division of AES turned to the relatively new remote sensing technology and developed a technique for retrieving surface water temperatures using airborne infrared radiometers. A survey flight pattern comparable in density of coverage to a ship's cruise could be executed on each lake within a few hours. Regular monitoring of the surface temperatures of the Great Lakes bordering on Canada by the Airborne Radiation Thermometer (ART) program commenced in 1966. Surveys were flown at approximately monthly intervals during the ice-free season [1]. Cost and logistics precluded a more intensive flight program. The ART program continued until 1979.

The ART survey made regular collection of near-synoptic lake-wide temperature data economically feasible. However, the spatial coverage of the lake surface was not much better than by ship, in that data were collected along transects at a spacing on the order of 50 km.

nécessaires dans les études du processus en cours et des conditions actuelles, par exemple, l'interaction de l'atmosphère avec les surfaces des lacs et les configurations de circulation dans les masses d'eau.

Pour d'autres études, il faut définir le champ des températures moyennes à long terme (climatologiques) afin d'établir l'état courant ou normal des divers processus et paramètres environnementaux et de déceler les tendances et les comportements anormaux de ces paramètres et processus. Afin de pouvoir définir les caractéristiques et les échelles climatologiques fiables des températures de l'eau, il faut tout d'abord amasser de façon systématique des données sur une période de l'ordre de quelques décennies.

Malheureusement, il a été impossible de répondre à l'une ou l'autre de ces demandes au moyen de la méthode classique de levé des températures des Grands Lacs à partir de bateaux. Dans le cas d'un plan d'eau de la taille d'un des Grands Lacs, il faut plusieurs jours pour réaliser, à l'aide de bateaux, un bon levé comprenant de nombreux transects du lac; les températures obtenues n'ont donc pas le caractère synoptique nécessaire. Mise à part cette inadéquation des données, la principale contrainte d'un projet de levé régulier et permanent réalisé à l'aide de navires est le coût prohibitif des opérations. C'est pourquoi les données historiques existantes sur les températures de l'eau des Grands Lacs obtenues à l'aide de navires sont peu nombreuses et sporadiques, ayant été amassées au cours de projets spéciaux de durée limitée.

Afin de résoudre le problème de la collecte de données sur la température de l'eau, la Division de l'hydrométéorologie et de la climatologie maritime du SEA s'est tournée vers une technologie relativement nouvelle de télédétection et a mis au point une technique de mesure des températures des eaux de surface à l'aide de radiomètres infrarouges aéroportés. Il serait possible d'exécuter une configuration de survols, comparable en densité à la couverture d'une croisière de navire, en quelques heures sur chacun des lacs. La surveillance régulière des températures des Grands Lacs situés en tout ou en partie au Canada a commencé en 1966 en vertu du programme du thermomètre de rayonnement aéroporté (TRA). Des survols étaient effectués à des intervalles à peu près mensuels au cours de la saison libre de glace [1]. Le programme de TRA s'est poursuivi jusqu'en 1979 mais ne pouvait être plus intensif pour des raisons de coût et de logistique.

Le levé TRA a rendu économiquement possible la collecte régulière de données de température quasi synoptiques à l'échelle des lacs. Cependant, la couverture spatiale de la surface du lac n'était pas tellement meilleure que dans le cas des levés par bateau, puisque les transects de collecte des données étaient distants d'environ 50 km.

The next advance in water temperature data collection was provided by polar-orbiting satellite technology at the close of the 1970s. After the installation of a satellite data receiving station at AES, a computerized Satellite Radiation Thermometer (SRT) data analysis program was developed to retrieve surface water temperatures from Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) infrared scanner data [2], [3]. The AVHRR sensors are carried by polar-orbiting satellites of the United States National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). From 1980 onward, water temperatures on the Great Lakes have been retrieved year-round by the SRT program.

The NOAA polar-orbiting satellite system consists of two sun-synchronous satellites: one satellite over-flies the Great Lakes area in the morning and evening, the other - in the afternoon and at night. Thus, there are potentially four over-flights per day from which temperatures can be retrieved. In practice, however, satellite temperature retrievals are limited by cloud cover and fog. This creates a seasonal bias in data collection rates over the Great Lakes.

Satisfactory coverage is achieved in spring and early summer, when periods of fair weather are frequent and the cold lakes themselves inhibit the formation of convective cloud. In late fall and early winter months cloud-free days over the Great Lakes are rare indeed. Incidence of weather system cloud is then more frequent. Moreover, the relatively warm lake surfaces generate their own local fog and cloud cover during otherwise clear (but cold) weather. However, satellite temperature retrievals have been in general more frequent than what was achieved by airborne surveys. The most valuable assets of satellite temperature data are their synopticity and complete spatial coverage of a lake surface - both previously unobtainable by ship or airborne survey.

The synoptic surface water isotherm maps, produced at first from the airborne surveys and now from satellite over-flights, have many real-time uses. In the Hydrometeorology and Marine Division of AES the data are used to estimate the daily and monthly mean water temperatures that are required for computing evaporation from the Great Lakes. The maps are also used in AES regional weather offices to modify the general weather forecasts for Great Lakes near-shore regions, and in air/water interaction studies. In addition, the data are used in various studies by other agencies and research institutions engaged in

Le progrès suivant enregistré dans le domaine de la collecte des données sur la température de l'eau a été fourni par la technologie des satellites en orbite polaire à la fin des années 1970. Après l'installation d'une station réceptrice de données de satellites au SEA, un programme informatisé d'analyse des données de thermomètres de rayonnement portés par satellite (TRS) a été mis au point pour déterminer les températures des eaux de surface à partir des données obtenues par balayage infrarouge au radiomètre perfectionné à très haut pouvoir de résolution (AVHRR) [2],[3]. Les capteurs AVHRR sont installés à bord des satellites en orbite polaire de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) des États-Unis. Depuis 1980, les températures de l'eau dans les Grands Lacs sont déterminées sur une base annuelle dans le cadre du programme TRS.

Le système de satellite en orbite polaire de la NOAA comprend deux satellites héliosynchrones : un satellite survole la région des Grands Lacs le matin et le soir, l'autre l'après-midi et la nuit. Les températures peuvent donc être potentiellement déterminées quatre fois par jour. En pratique, cependant, la présence de brouillard et d'une couverture nuageuse limite les possibilités, ce qui produit un biais saisonnier du taux de collecte des données au-dessus des Grands Lacs.

En effet, on réussit à obtenir une couverture satisfaisante au printemps et au début de l'été, lorsque les périodes de beau temps sont fréquentes et que les lacs froids empêchent la formation de nuages de convection. A la fin de l'automne et durant l'hiver, les jours sans nuages au-dessus des Grands Lacs sont rares; la formation de nuages associés à des systèmes météorologiques est alors plus fréquente. En outre, parce que les surfaces des lacs sont relativement chaudes, elles produisent leur propre couverture nuageuse et des brouillards locaux par temps clair mais froid. Cependant, la collecte de données de températures a généralement été plus fréquente à l'aide de satellites que lors des levés aéroportés. Les plus grands avantages des données de satellites sont sans contredit leur caractère synoptique et la couverture spatiale complète de la surface d'un lac, impossible à obtenir au moyen des levés par bateau ou par aéronef.

Les cartes synoptiques d'isothermes (eau de surface), produites au départ grâce aux levés aéroportés et, aujourd'hui, grâce au survol de satellites comportent de nombreuses utilisations en temps réel. Ainsi, à la Division de l'hydrométéorologie et de la climatologie maritime du SEA, les données servent à estimer les températures quotidiennes et mensuelles de l'eau nécessaires au calcul de l'évaporation des Grands Lacs. Les bureaux météorologiques du SEA utilisent aussi ces cartes pour modifier les prévisions météorologiques générales pour les régions littorales des Grands Lacs ainsi que dans des études

investigations of Great Lakes resources and environmental problems, for example fisheries and water quality.

The ART and SRT programs have met at least some of the needs for real-time information on Great Lakes water temperature, within the operational constraints discussed above. The other objective, and the subject of this report, has been the development of a surface water temperature climatology for the Great Lakes. The ART and SRT data, collected from 1966 to 1988 inclusive, is the basis for the climatology. It is unfortunate that Lake Michigan must be excluded from this study. Due to limits on resources, monitoring of Lake Michigan water temperatures was not undertaken until 1988.

This study has few precedents in two respects. Firstly, the only previous comprehensive climatological investigation of Great Lakes water temperatures was carried out by Millar in 1952 [4]. His data were commercial ships' water intake temperatures, collected during the 1930s and 1940s. Ships' data had two undesirable characteristics: 1) the depth of the ships' intake pipes was considerable (of the order of several metres) and varied from vessel to vessel; 2) sampling was confined largely to the commonly used shipping lanes on the Great Lakes. Nevertheless, Millar's work has served as the only concrete reference on the subject for many years and is still regarded as a classic for the completeness of its description of the dynamics of the major water circulation patterns in the Great Lakes.

Secondly, few climatological-scale studies of the temperature of fresh-water bodies based on radiometrically derived temperature data have been attempted to present, due to the fact that remote sensing is still a relatively new technology. Previously, monthly mean surface water temperatures had been computed for Lake Ontario, Lake Erie and Georgian Bay, based on the very short ART data record [5], [6], [7], [8]. Rudimentary maps of monthly mean surface temperature, based on 1966-1984 ART/SRT data were included in the Great Lakes Climatological Atlas [9].

The characteristics of radiometric data and how they differ from conventional *in situ* measurements are not commonly known. The users of the

d'interaction entre l'air et l'eau. De plus, les données servent à diverses études réalisées par d'autres organismes et instituts de recherche qui s'intéressent aux questions de ressources et aux problèmes environnementaux dans les Grands Lacs, par exemple la qualité de l'eau et les pêches.

Les programmes TRA et TRS ont au moins répondu à certains des besoins en information en temps réel sur la température de l'eau des Grands Lacs, dans le cadre des contraintes des opérations dont il a été question ci-dessus. L'autre objectif, et l'objet du présent rapport, est l'étude climatologique de la température des eaux de surface des Grands Lacs. Les données de TRA et de TRS, recueillies de 1966 à 1988 inclusivement, constituent la base de l'étude climatologique. Il est malheureux que le lac Michigan doive être exclu de la présente étude. En effet, pour des raisons de limite de ressources, la surveillance des températures des eaux du lac Michigan n'a pu être entreprise qu'en 1988.

La présente étude est novatrice à deux égards. D'abord, la seule étude climatologique globale des températures de l'eau des Grands Lacs réalisée précédemment est celle de Millar (1952) [4]. Les données sur lesquelles il avait fondé son étude correspondaient aux températures de l'eau dans les prises de navires commerciaux, mesurées au cours des années 1930 et 1940. Ces données avaient deux inconvénients : 1) la profondeur des prises d'eau des navires était considérable (de l'ordre de plusieurs mètres) et variable d'un navire à l'autre et 2) l'échantillonnage a été confiné essentiellement aux voies de navigation les plus fréquemment utilisées sur les Grands Lacs. Néanmoins, le travail de Millar a constitué pendant nombre d'années la seule référence concrète sur le sujet et est encore aujourd'hui considérée comme particulièrement intéressante par sa description complète de la dynamique des principales configurations de circulation de l'eau dans les Grands Lacs.

Deuxièmement, peu d'études des températures de plans d'eau douce ont été réalisées à l'échelle climatologique à partir de données obtenues par méthode radiométrique, parce que la télédétection demeure une technologie relativement nouvelle. Lors d'études antérieures, on avait calculé des températures mensuelles moyennes des eaux de surface pour le lac Ontario, le lac Érié et la baie Georgienne, d'après des données de TRA enregistrées sur de très courtes périodes [5], [6], [7], [8]. Des cartes rudimentaires des températures mensuelles moyennes, fondées sur des données de TRA/TRS de 1966-1984 ont été incluses dans l'Atlas climatologique des Grands Lacs [9].

On connaît peu les caractéristiques des données radiométriques et des différences entre celles-ci et des mesures classiques *in situ*. Les utilisateurs de l'information contenue dans le présent rapport doivent tenir compte des

information in this report should bear in mind the peculiarities of radiometric temperature data, discussed in Sections 1.1 and 1.2 of the report.

Due to the relatively infrequent rates of ART and SRT data acquisition, it has taken more than 20 years to accumulate a sufficiently large temperature data base for the calculation of reasonably stable climatological averages and standard deviations. At present, winter temperature data are still sparse from the upper Great Lakes, necessitating liberal interpolation between the few available data points. Fortunately, both the range and variability of Great Lakes water temperature are small in winter. Thus, any bias that might be caused by insufficient sampling is kept within acceptable bounds.

The process whereby the statistical parameters for the climatology were derived required several years of work. A computer data base was created first by abstracting temperatures at a set of grid points from the original airborne and satellite survey maps. Means and standard deviations of water temperature at the grid point locations were calculated by linear regression. The data files - one for each lake - were routinely updated with incoming new data. After file updates, the means and standard deviations were recalculated and inspected for stability. When the data base had grown to the size where the addition of new data did not appreciably change the recalculated means and standard deviations from the previous ones, it could be assumed with some degree of confidence that the values represent reasonably well the climatological surface water temperature regime. At that point it was deemed worthwhile to present, evaluate and discuss the properties of the temperature regimes of the Great Lakes in a climatological sense.

The information is presented in the form of: 1) tables and graphs of the normal daily water temperature and variability; 2) beginning-of-month and middle-of-month temperature and variability maps. The methods used to compute the means and standard deviations and the manner in which the results should be interpreted are described in Sections 1.3 and 1.4, respectively.

The surface water temperature of the Great Lakes is closely linked to events in the atmosphere, i.e., the weather, and it is also influenced by surface and sub-surface circulation in the large water masses. These factors must be considered when describing the surface water temperature climatology.

particularités des données de températures radiométriques dont il a été question dans les sections 1.1 et 1.2 du présent rapport.

Vu les taux relativement faibles d'acquisitions de données de TRA et de TRS, il a fallu plus de 20 ans pour accumuler une base de données dont la taille permette le calcul de moyennes et d'écarts types climatologiques relativement stables. A l'heure actuelle, les données hivernales pour la portion supérieure des Grands Lacs sont encore éparses, ce qui oblige à interpoler beaucoup entre les quelques points de données disponibles. Heureusement, la gamme et la variabilité des températures de l'eau des Grands Lacs sont faibles en hiver; tout biais qui pourrait être causé par un échantillonnage insuffisant reste donc dans des limites acceptables.

Il a fallu plusieurs années de travail pour générer les paramètres statistiques de l'étude climatologique. On a d'abord créé une base de données informatisée en déterminant les températures pour une série de points de grilles à partir des cartes originales de levés réalisés au moyen de satellites et d'aéronefs. Les moyennes et les écarts types des températures de l'eau aux points de grille ont été calculés par régression linéaire. Les fichiers de données, un par lac, ont été mis à jour régulièrement grâce à l'apport de nouvelles données. Après chacune des mises à jour, les moyennes et les écarts types ont été recalculés et leur stabilité a été vérifiée. Une fois la base de données suffisamment importante pour que l'ajout de nouvelles données ne change pas de façon appréciable les moyennes et les écarts types, on a pu supposer avec un certain degré de confiance que les valeurs représenteraient relativement bien le régime climatologique des températures des eaux de surface. A ce moment, il a semblé utile de présenter, d'évaluer et de discuter des propriétés des régimes de températures des Grands Lacs dans une optique climatologique.

L'information est présentée sous forme : 1) de tableaux et de graphiques des températures et de la variabilité normales et quotidiennes de l'eau; 2) de cartes de température et de variabilité pour le début et le milieu du mois. Les méthodes utilisées pour calculer les moyennes et les écarts types et la façon d'interpréter les résultats sont données respectivement aux sections 1.3 et 1.4.

La température des eaux de surface des Grands Lacs est étroitement liée aux phénomènes atmosphériques, c'est-à-dire, au climat, et est aussi touchée par la circulation de surface et de subsurface dans les importantes masses d'eau. Il faut tenir compte de ces facteurs pour décrire les caractéristiques climatologiques de la température des eaux de surface.

In order to acquaint the reader with the fundamentals of a rather complex science, a generalized summary of the interactive physical processes that determine the Great Lakes temperature regimes is provided in Section 2. The discussion touches on three major scientific disciplines: limnology, meteorology and hydrology. A large body of knowledge, collected through research in the above disciplines, supports the concepts and physical laws cited in this report. Much of this knowledge is basic to, and shared by the three disciplines, requiring no special reference as to source. A limited number of references are cited in this report, usually when the evidence supporting a fact or conclusion arises from investigative work directly on the Great Lakes.

A more exhaustive dissertation on the topic was considered unnecessary, since the primary objective of this publication is the presentation of the Great Lakes climatological water temperature data to a diverse group of users. The proceedings of Conferences on Great Lakes Research and the Journal of Great Lakes Research, both published by the International Association for Great Lakes Research, are recommended as starting points for those who wish to pursue an in-depth study of the subject.

The temperature regimes of the individual lakes are described in separate sections. A narrative summary of the annual temperature cycle of a lake and comments on the temperature and variability patterns of the individual maps precede the data portion. The data presentation contains: 1) the normal daily temperature and variability table and the annual temperature curve, 2) grid point location map, 3) bathymetric map, and 4) a set of 24 temperature isotherm/variability isoline maps, for the beginning and middle of each month.

It is hoped that this report will provide useful information for environmental studies and also serve as a general reference on Great Lakes water temperatures.

Afin de familiariser le lecteur avec les principes fondamentaux d'une science plutôt complexe, la section 2 présente un résumé généralisé des processus physiques qui déterminent les régimes de température des Grands Lacs. Il y est question de trois disciplines scientifiques importantes : la limnologie, la météorologie et l'hydrologie. Les concepts et les lois physiques cités dans le présent rapport sont étayés par un grand volume de connaissances amassées grâce à la recherche dans ces trois disciplines. Comme la majeure partie de ces connaissances constitue une base commune à ces trois disciplines, il n'est pas nécessaire de donner les sources. Nous avons préféré ne citer ici, à l'appui d'un fait ou d'une conclusion, que les références tirées de travaux de recherches réalisés dans les Grands Lacs.

Nous avons considéré qu'il n'était pas nécessaire de traiter plus longuement du sujet, puisque l'objectif principal de la présente publication est la présentation des données climatologiques de la température des eaux à divers groupes d'utilisateurs. Nous recommandons à ceux qui désirent poursuivre une étude plus approfondie dans le domaine de débuter en consultant les actes des Conferences on Great Lakes Research et le Journal of Great Lakes Research, publiés tous deux par l'Association internationale de recherche sur les Grands Lacs.

Les régimes thermiques de chacun des lacs sont décrits dans des sections distinctes. Un commentaire résumé sur le cycle annuel de températures du lac accompagné de commentaires sur les configurations de température et de variabilité des cartes précède les données qui se présentent de la façon suivante : 1) le tableau des températures et de la variabilité normales et quotidiennes et la courbe des températures annuelles, 2) la carte des emplacements des points de grille, 3) la carte bathymétrique et 4) une série de 24 cartes d'isothermes et d'isolignes de variabilité pour le début et le milieu de chacun des mois.

Nous espérons que ce rapport sera utile pour les études sur l'environnement et qu'il servira d'outil général de référence sur les températures de l'eau des Grands Lacs.

SECTION 1

DATA SOURCES, ANALYSIS AND PRESENTATION

SOURCES, ANALYSE ET PRÉSENTATION DES DONNÉES

SECTION 1 DATA SOURCES, ANALYSIS AND PRESENTATION

1.1 Description of the Data

The data base consists of radiometric surface water temperatures. The Celsius temperature scale is used throughout this report.

Radiometric temperatures are derived by the Planck's Law relationship of spectral radiant emittance to the temperature of the emitting body. Evaluation of the temperature of a water surface is facilitated by the fact that water is a nearly-perfect "blackbody" radiator in the infrared portion of the spectrum; i.e., almost all of the energy upwelling from a water surface is radiated by the water, only a tiny portion of the total energy is reflected by the surface.

From 1966 to 1979 the temperatures were collected by airborne surveys using the Airborne Radiation Thermometer (ART). From 1980 to 1988 temperatures were retrieved from Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) scanner infrared data of NOAA TIROS-N satellites by a computerized Satellite Radiation Thermometer (SRT) analysis program.

The ART data were collected with thermistor bolometer sensors. The instruments used were Barnes Engineering Co. portable radiometers. The first generation instruments operated in the 8 to 14 micrometre region of the spectrum; in later models, the window was reduced to the 9.5 to 11.5 micrometre range. The airborne surveys were flown along straight-line crossings of a lake at spacings from 20 to 80 kilometres, depending on the size of the lake. Flight altitude was at 300 metres above the lake surface. The radiometer's field of view on the surface was 10 metres.

The satellite temperatures were retrieved from the radiances of AVHRR Channel 4 radiometers, which operate in the 10.5 to 11.5 micrometre region. The resolution of the AVHRR scanner data element (pixel) is 1 by 1 kilometres at the sub-satellite point and decreases to about 5 by 2 kilometres at the edges of the scan. The data acquisition and processing techniques of the ART and SRT programs are described fully in references [1], [2] and [3].

Radiometric temperature is derived from the thermal radiant intensity of a body. Therefore, it represents the temperature of the upper fraction of a millimetre, or "skin" of a water surface and is unlike the temperature measured by an immersed or contact type sensor. With respect to surface water

SECTION 1 SOURCES, ANALYSE ET PRÉSENTATION DES DONNÉES

1.1 Description des données

La base de données comporte des températures radiométriques de la surface de l'eau. Dans le présent rapport, l'unité de mesure utilisée est le degré Celsius.

Les températures radiométriques sont obtenues par application de la loi de Planck, qui définit le rapport existant entre l'émittance énergétique spectrale et la température du corps qui émet. L'évaluation de la température d'une surface d'eau est facilitée par le fait que l'eau est "un corps noir" ou radiateur quasi intégral dans la portion infrarouge du spectre; c'est-à-dire, que presque toute l'énergie provenant d'une surface d'eau est irradiée par celle-ci, seule une faible portion de l'énergie totale est réfléchie par la surface.

De 1966 à 1979, les températures ont été mesurées au cours de levés aéroportés à l'aide de thermomètres à rayonnement aéroporté (TRA). De 1980 à 1988, les températures ont été établies à partir de données infrarouges obtenues par un radiomètre à très haut pouvoir de résolution (AVHRR) des satellites TIROS-N de la NOAA au moyen d'un programme d'analyse informatisé de thermomètres à rayonnement satellite (TRS).

Les données de TRA ont été mesurées à l'aide de capteurs bolométriques. On a utilisé des radiomètres portatifs Barnes Engineering Co. La première génération d'instruments fonctionnait dans la bande spectrale 8 à 14 microns; dans les modèles suivants, la fenêtre a été réduite au domaine de 9,5 à 11,5 microns. Les avions de reconnaissance traversaient le lac en ligne droite à des intervalles de 20 à 80 kilomètres, selon la superficie du lac étudié. L'altitude de vol était de 300 mètres au-dessus de la surface du lac. Le champ de vision du radiomètre à la surface était de 10 m.

Les températures de TRS ont été établies à partir des radiances des radiomètres du canal 4 de AVHRR, qui fonctionne dans le domaine 10,5 - 11,5 microns. La résolution d'un élément de donnée de balayage (pixel) de l'AVHRR est de 1 kilomètre sur 1 kilomètre au point sous-satellitaire; cet élément diminue à environ 5 kilomètres sur deux en bordure de la zone balayée. Les techniques d'acquisition et de traitement des données des programmes de TRA et de TRS sont décrites en entier dans les références [1], [2] et [3].

La température radiométrique d'un corps est déterminée à partir de l'intensité énergétique thermique. Elle correspond donc à la température de la portion supérieure, de l'ordre d'une fraction de millimètre, ou de la "peau" d'une surface d'eau et est donc différente de la température mesurée à l'aide d'un

temperatures of lakes, agreement between the two types of measurements depends on weather conditions, the depth of the surface mixed layer in the lake and the depth at which the immersed sensor measurement is taken.

In general, the rate and direction of heat flux are more variable at the surface than in the sub-surface layer of a lake. Consequently, the diurnal range of the skin temperature can be expected also to be greater than that of the sub-surface, irrespective of mixing conditions. Therefore, some differences between the surface and sub-surface temperature can occur, particularly around the times of the daily maximums and minimums, even though the daily mean temperatures of the skin and sub-surface might be nearly the same.

Substantial, short-duration temperature differences between the surface and sub-surface can occur under calm and clear weather conditions, when the radiometric temperatures can be biased by transitory phenomena such as extreme heating of the water surface by solar radiation, or the opposite - evaporative or radiative cooling and ice crystal formation at the surface.

Another factor that enters considerations of the skin vs. sub-surface temperature difference is density stratification in the surface layer. Briefly stated, the upper portion of the Great Lakes water mass is stratified into layers of different density and temperature during most of the year. The mechanics of the stratification process are discussed further in Section 2. Density stratification inhibits vertical (convective) mixing, and hence the transport of heat, between the layers. This condition confines the incoming and outgoing heat exchange processes to the topmost layers and further accentuates temperature differences between the surface and sub-surface.

It is difficult to assess the magnitude of the skin vs. sub-surface temperature difference, because it is a function of multiple factors, such as the intensity of solar heating, air temperature, humidity and mixing (convective and wind-induced) in the surface layer. All that can be said is that considerable temperature differences between the skin and sub-surface temperature are possible.

The surface vs. sub-surface temperature differences observed in the Great Lakes are tabulated in Table 1-1, Section 1.2. The statistics permit only general conclusions and illustration of extremes. The important point to bear in mind when using the information contained in this report is that a set of radiometric surface water temperature data has greater variability and range than a comparable

capteur immergé ou par contact. Dans le cas des températures des eaux de surface des lacs, la correspondance entre les deux types de mesures dépend des conditions météorologiques, de l'épaisseur de la couche mélangée et de la profondeur à laquelle le capteur est plongé pour prendre la mesure.

En général, le taux et la direction du flux thermique dans un lac présentent une variabilité plus grande à la surface que sous elle. On peut donc s'attendre à ce que l'amplitude diurne des températures de surface soit aussi plus importante que sous la surface, peu importe les conditions de mélange. Certaines différences entre les températures de surface et de subsurface peuvent donc apparaître, surtout au moment des extrêmes (maximum et minimum) quotidiens, même si les températures moyennes quotidiennes de ces deux couches sont très semblables.

Il peut se produire, pour de courtes durées, des différences de température considérables entre les couches de surface et de subsurface par temps calme et clair, dans les cas où les températures radiométriques peuvent être biaisées par des phénomènes transitoires comme le réchauffement extrême de la surface de l'eau par le rayonnement solaire ou le refroidissement par rayonnement ou par évaporation et la formation de cristaux de glace à la surface.

Un autre facteur qui peut expliquer la différence de températures entre la surface et la couche subsurface est la stratification de densité. Dit simplement, la portion supérieure de la masse d'eau des Grands Lacs est stratifiée en couches de température et de densité différentes durant la majeure partie de l'année. Les processus de stratification sont décrits plus en détail à la section 2. La stratification de densité freine le brassage convectif vertical, donc le transport de chaleur, entre les couches. C'est pourquoi les échanges de chaleur avec l'extérieur sont confinés aux couches supérieures; les différences de température sont d'autant accentuées entre la surface et la couche inférieure.

Il est difficile d'évaluer l'ampleur des différences des températures entre ces deux couches, parce qu'elle est fonction de nombreux facteurs, par exemple l'intensité du réchauffement solaire, la température de l'air, l'humidité et le brassage (engendré par le vent et de convection) dans la couche superficielle. Tout ce que l'on peut dire c'est qu'il peut exister des différences considérables entre les températures de surface et de subsurface.

Les différences de température enregistrées dans les Grands Lacs entre la surface et la couche superficielle sont présentées au tableau 1-1 de la section 1.2. Ces données ne permettent que de tirer des conclusions générales et d'illustrer les valeurs extrêmes observées. Quiconque utilise l'information contenue dans le présent rapport ne doit pas oublier qu'une série de données

set of conventional measurements taken at some depth below the surface, and that these attributes are likewise true of the climatological parameters derived from the data.

The atmosphere is a major problem - at times an absolute constraint - for quantitative remote sensing of the earth's surface in the visible and infrared regions of the electromagnetic spectrum. The gaseous constituents of the atmosphere and atmospheric water - both in molecular and droplet form - attenuate short-wave radiation. In the infrared portion of the spectrum, the effect of the atmosphere can be minimized by selecting spectral "windows" for the radiometer's operational wave-length range, so that the attenuation, particularly by water molecules, is the least. The 9.5 to 11.5 micrometre region is utilized in infrared sensors for this reason.

Given a cloud-free atmosphere between the sensor and the surface target area, and a measure of the concentration of the attenuators over the atmospheric path-length, one can compute the correction that must be applied to the apparent surface temperature registered by the sensor. Of course, surface temperature is unobtainable if the intervening atmosphere contains cloud. In this respect the airborne survey has an advantage over the satellite: the aircraft can, if need be, operate below the cloud base; and the correction that is applied to the airborne radiometer readings is smaller than that for the satellite, due to the shorter atmospheric path-length between the sensor and the surface.

Detection and screening out of cloud-contaminated temperature values can be a problem in ambiguous situations, where the air mass is almost at its saturation temperature and the water vapour is on the verge of condensing. This is usually a low-level phenomenon, occurring just above the lake surface. A borderline condition then exists, between heavy haze, which can be accounted for by the atmospheric correction technique, and light fog, which can not. Weak thermal contrast between the water and air saturation temperatures compounds the difficulty of detecting contaminated data.

Although the data have been screened to the fullest extent possible, it is very likely that some bogus values have escaped detection. The fact that the bogus data must conform reasonably well with the genuine temperature field in

radiométriques soit la température des eaux de surface présente une variabilité et une amplitude supérieures à celles d'une série comparable de mesures conventionnelles enregistrées à une certaine profondeur sous la surface et qu'il en est de même pour les paramètres climatologiques tirés des mêmes données.

L'atmosphère limite, et même parfois empêche absolument, la télédétection quantitative de la surface terrestre dans les zones infrarouges et visibles du spectre électromagnétique. En effet, les composantes gazeuses de l'atmosphère de l'eau atmosphérique, sous forme de molécules et de gouttelettes, atténue le rayonnement d'ondes courtes. Dans le domaine de l'infrarouge, on peut minimiser l'effet de l'atmosphère en choisissant des "fenêtres spectrales" pour l'amplitude des longueurs d'onde sur lesquelles fonctionne le radiomètre, de façon à ce que l'atténuation notamment par les molécules d'eau, soit minimale. C'est pourquoi on utilise avec les capteurs infrarouges la bande de 9,5 à 11,5 microns.

Pourvu qu'entre le capteur et la zone-cible, l'atmosphère soit sans nuage, et que l'on dispose d'une mesure de la concentration des facteurs d'atténuation au-dessus de la longueur du parcours atmosphérique, il est possible de calculer le facteur de correction qui doit être appliqué à la température enregistrée par le capteur. Il est bien entendu que la température de surface ne peut être obtenue si l'atmosphère renferme des nuages. A cet égard, le levé aéroporté a un avantage net par rapport au satellite puisque l'avion de reconnaissance peut, si cela est nécessaire, voler sous la base des nuages; en outre, la correction appliquée aux lectures par radiomètre aéroporté est plus faible que celle qui s'applique dans le cas d'un satellite, à cause de la longueur de parcours atmosphérique plus courte entre le capteur et la surface.

Dans certains cas ambigus, il peut être difficile de détecter et d'écarter les valeurs de température "contaminées par les nuages", là où la masse d'air a presque atteint sa température de saturation et que la vapeur d'eau est sur le point de se condenser. Il s'agit généralement d'un phénomène qui se produit à basse altitude, juste au-dessus de la surface d'un lac. Apparaît alors une condition limite entre l'épaisse brume, à laquelle on peut appliquer la technique de correction atmosphérique, et le léger brouillard, qui ne peut faire l'objet d'une correction. A cela s'ajouter la difficulté de détecter les données contaminées à cause du faible contraste thermique entre les températures de l'eau et de la saturation d'air.

Même si les données ont été vérifiées au mieux, il se peut fort bien que certaines valeurs fausses n'aient pas été détectées. Mais, il est consolant de savoir que les fausses données doivent se conformer relativement bien au champ

order to escape detection is a consolation: they are unlikely to bias the climatology to a significant extent.

The final product of an ART survey, or a satellite data analysis, is an isothermal map of the surface water temperature field. For ART surveys, the lake-wide surface temperature pattern had to be derived by interpolating between linear transects of the field. On the larger lakes the transects were spaced as much as 80 kilometres apart. Knowledge of the normally-existing seasonal surface temperature structure of the lake and the manner in which the structure may be altered by the prevailing and antecedent weather conditions was applied in deducing the lake-wide temperature pattern from the transect data. Inevitably, temperature maps produced from ART surveys were highly smoothed simplifications of the actual field.

SRT data, however, give complete spatial coverage of the lake. Isotherm maps are produced from a computer printout of a 2 by 2 kilometre averaged temperature field.

A computerized water temperature data base was created by extracting temperatures from the isothermal maps at grid points with a 5 to 15 minute latitude/longitude spacing. The grid density was tailored to suit the size and shape of each lake (refer to Maps 3-1, 4-1, 5-1, and 6-1 for grid configurations).

It must be noted that the data base lacks homogeneity for several reasons:

a) As explained above, the ART survey maps are smoothed representations of the temperature field. Therefore, the grid point temperatures extracted from these maps are also to some extent estimated values.

b) The total number of temperature observations is not the same for all grid points of a given lake. The western basin of Lake Superior was not over-flown in the early years of the ART program, and the western extremities of Lake Huron were never covered by ART. Furthermore, partial ART and SRT temperature analyses were sometimes performed when a portion of a lake was obscured by cloud or fog.

c) Due to the lack of data in the winter months on Lake Superior, some bathythermograph data collected by the Great Lakes Environmental Research Laboratory of NOAA [10] were included in the data set.

thermique réel afin d'échapper à la détection et qu'il est donc peu probable qu'elles entraînent un biais important des caractéristiques climatologiques.

Le produit final d'un relevé de TRA, ou d'une analyse de données de satellite est constitué d'une carte des isothermes des champs de température de la surface de l'eau. Dans le cas des levés TRA, la configuration thermique superficielle de tout le lac a dû être obtenue par interpolation entre les transects linéaires effectués. Sur les lacs les plus importants, les transects étaient aussi distants que 80 kilomètres. La structure saisonnière de températures de surface du lac qui s'observe normalement et la façon dont cette structure peut être altérée par les conditions météorologiques antérieures et actuelles ont servi à déduire les configurations thermiques de tout le lac à partir des données issues des transects. Les cartes thermiques produites à partir des levés de TRA constituent inévitablement des simplifications très lissées du champ thermique actuel.

Les données de TRS procurent cependant une couverture spatiale complète du lac. Des cartes d'isothermes sont produites à partir d'une copie papier informatisée d'un champ thermique moyen pour une superficie de 2 kilomètres sur 2 kilomètres.

Une banque de données informatisées des températures de l'eau a été créée en extrayant des cartes isothermes les températures à des points de grille à toutes les 5 à 15 minutes de latitude/longitude. La densité des mailles de la grille a été déterminée en fonction de la forme et de la taille de chacun des lacs (voir les cartes 3-1, 4-1, 5-1 et 6-1 pour connaître la configuration des grilles).

Il faut noter que la base de données n'est pas homogène pour plusieurs raisons :

a) Comme nous l'avons expliqué ci-dessus, les cartes de levé de TRA sont des représentations lissées des champs thermiques. Les températures aux points de grille provenant de ces cartes constituent donc dans une certaine mesure des valeurs estimées.

b) Le nombre total d'observations de températures n'est pas le même pour tous les points de grille d'un lac donné. Ainsi, le bassin ouest du lac Supérieur n'a pas été survolé au cours des premières années du programme TRA et les extrémités ouest du lac Huron n'ont jamais été couvertes par un levé de TRA. De plus, des analyses partielles des températures de TRA et de TRS ont parfois été effectuées au moment où une portion d'un lac était obscurcie par les nuages ou le brouillard.

c) Vu le manque de données hivernales pour le lac Supérieur, certaines données bathythermographiques prélevées par le Great Lakes Environmental Research Laboratory de la NOAA [10] ont été inclus dans la série de données.

Merging of the not quite comparable data into one set for this study was dictated by the pressing need for a water temperature climatology. As long as the Great Lakes temperature monitoring program continues, the data set will be augmented yearly with additional SRT temperatures. Hopefully, the water temperature climatology will be updated, based on a larger data set, at some time in the future.

1.2 Intercomparisons and Accuracy of Data

It is difficult to determine with precision the accuracy of radiometrically derived water temperatures, due to their unique characteristics, as described in the preceding section. A rigorous test of accuracy would involve elaborate, specially instrumented field experiments. Measurements of thermal radiance by the airborne or satellite-borne radiometer and by a comparable radiance-measuring technique at lake level would have to be effected simultaneously from a water surface area of fixed size and location. Such undertakings being impractical, errors in the ART and SRT temperature data remain undetermined.

Although intercomparisons of ART and SRT temperatures with in situ point temperature measurements can not be used to assess the accuracy of the former, they do have some utility. Statistical analyses of multiple intercomparisons give an indication of the average differences between the remote and in situ measurements and the range of divergence between the measurements that can be expected under different conditions of solar heating, stratification and mixing in the surface layer.

Both the ART and SRT water temperatures have been compared with conventional measurements. In 51 intercomparisons of ART with ship's bucket and submerged thermistor readings on the Great Lakes and the St. Lawrence River, the mean difference between ART and conventional measurements was found to be 0.0 degrees, with a standard deviation from the mean of 0.6 degrees [11].

Intercomparisons of SRT and NOAA meteorological buoy water temperatures are done routinely on the Great Lakes during SRT water temperature analyses. The buoys are operational during the navigation season. They are moored in the same locations in the central regions of the Great Lakes from year to year. The buoys transmit hourly standard meteorological observations, including water temperature at the 1-metre depth.

Vu le besoin pressant d'en arriver à connaître les caractéristiques climatologiques de la température de l'eau, il a fallu rassembler les données en une seule série, même si elles n'étaient pas tout à fait comparables. Aussi longtemps que se poursuivra le programme de surveillance de la température des lacs, la série de données sera augmentée annuellement par des données de TRS. Nous espérons pouvoir mettre à jour l'étude climatologique, à partir d'une série de données plus importantes, dans un proche avenir.

1.2 Comparaison des données et fiabilité

Il est difficile de déterminer avec exactitude la précision des températures de l'eau obtenue par radiométrie à cause des caractéristiques uniques de celles-ci, décrites précédemment. Pour réaliser un test rigoureux de la précision, il faut effectuer des expériences élaborées sur le terrain au moyen d'instruments spéciaux. Il faudrait effectuer simultanément les mesures de la radiance thermique au moyen d'un radiomètre aéroporté et satellisé, ainsi que par une technique comparable de la mesure de la radiance au niveau du lac sur une superficie de taille et d'emplacement donnés. Comme il est difficile de le faire, les erreurs de données mesurées par satellite et par avion restent indéterminées.

Bien que les comparaisons de températures de TRA et de TRS avec les mesures de température ponctuelle in situ ne peuvent servir à évaluer la précision de celles-ci, elles sont quand même utiles. L'analyse statistique des multiples comparaisons permet de montrer les différences moyennes entre les mesures aérospatiales et les mesures in situ ainsi que l'amplitude de la divergence entre les mesures à laquelle on peut s'attendre pour diverses conditions de réchauffement solaire, de stratification et de mélange dans la couche supérieure.

Les températures de l'eau obtenues au moyen de TRA et de TRS ont été comparées avec les mesures classiques. Au cours de 51 comparaisons de données de TRA et de lectures obtenues au moyen de godets et de thermistances immergées à partir d'un navire dans les Grands Lacs et le fleuve Saint-Laurent, on a observé une différence moyenne de 0,0 degré, et un écart type de 0,6 degré [11].

On effectue régulièrement sur les Grands Lacs, au cours d'analyses des données sur la température de l'eau au moyen de TRS, des comparaisons entre ces données et les données obtenues au moyen de bouées météorologiques de la NOAA. Les bouées fonctionnent durant la saison de navigation et sont ancrées chaque année aux mêmes endroits dans les régions centrales des Grands Lacs. Les bouées transmettent les observations météorologiques habituelles, y compris la température de l'eau à 1 mètre de profondeur, toutes les heures.

TABLE 1-1

Intercomparisons of SRT (Ts) and Buoy (Tb) temperatures

Ts-Tb Difference	[Buoy Temperature Range (Deg. C)] [0.0 to 4.0	> 4.0]	No. of Obs.
4.3+		2	2
3.8 to 4.2		3	3
3.3 to 3.7		2	2
2.8 to 3.2			
2.3 to 2.7		5	5
1.8 to 2.2		16 (5)	16 (4)
1.3 to 1.7	1	22 (7)	23 (5)
0.8 to 1.2	9 (7)*	45 (14)	54 (12)
0.3 to 0.7	15 (12)	84 (26)	99 (22)
-0.2 to 0.2	56 (44)	84 (26)	140 (31)
-0.7 to -0.3	30 (24)	43 (13)	73 (16)
-1.2 to -0.8	12 (10)	14 (4)	26 (6)
-1.7 to -1.3	3	3	6
-2.2 to -1.8		2	2
-2.7 to -2.3			
-3.2 to -2.8			
-3.7 to -3.3		1	1
No. of Obs.	126	326	452
Mean Difference	-0.1	0.4	0.3
Std Deviation	0.5	1.0	0.9

* percent frequency of occurrence

The results of 451 intercomparisons of SRT and buoy temperatures at 1-metre depth are given in Table 1-1. The intercomparisons have been grouped by 0.5-degree increments in the SRT minus buoy temperature differences (Ts-Tb) and by buoy temperature range: 0.0 to 4.0 degrees for the unstratified, and greater than 4.0 degrees for the stratified surface layer.

TABLEAU 1-1

Comparaison des températures de bouées (Tb) et de TRS (Ts)

différence Ts-Tb	[amplitude des températures de bouées (degrés C)] [0,0 à 4,0	> 4,0]	nbre d'obs.
4,3+		2	2
3,8 à 4,2		3	3
3,3 à 3,7		2	2
2,8 à 3,2			
2,3 à 2,7		5	5
1,8 à 2,2		16 (5)	16 (4)
1,3 à 1,7	1	22 (7)	23 (5)
0,8 à 1,2	9 (7)*	45 (14)	54 (12)
0,3 à 0,7	15 (12)	84 (26)	99 (22)
-0,2 à 0,2	56 (44)	84 (26)	140 (31)
-0,7 à -0,3	30 (24)	43 (13)	73 (16)
-1,2 à -0,8	12 (10)	14 (4)	26 (6)
-1,7 à -1,3	3	3	6
-2,2 à -1,8		2	2
-2,7 à -2,3			
-3,2 à -2,8			
-3,7 à -3,3		1	1
nbre d'obs.	126	326	452
dif. moyenne	-0,1	0,4	0,3
écart type	0,5	1,0	0,9

* pourcent de la fréquence de récurrence

Les résultats des 451 comparaisons de températures obtenues au moyen de TRS et des bouées à 1 mètre de profondeur sont données au tableau 1-1. Les résultats de la comparaison sont présentés de la façon suivante : des classes d'augmentation de 0,5 degré des différences entre les données TRS et les données de bouées (Ts-Tb) et selon l'amplitude de la température enregistrée par les bouées : 0,0 à 4,0 degrés pour la couche superficielle non stratifiée et supérieur à 4,0 degrés pour la couche stratifiée.

The body of the table shows the distribution of the intercomparisons within theTs-Tb and buoy temperature ranges. Percent frequency of occurrence is indicated in brackets. Below the distribution table are given the number of observations, the mean Ts-Tb difference and standard deviation from the mean difference for the two buoy temperature ranges and for the entire data set.

The intercomparison statistics indicate that, overall, SRT temperatures average 0.3 degrees warmer than the buoy temperatures, with a standard deviation of 0.9 degrees from the mean difference. When the temperature of the surface layer is 4 degrees or less, the layer is unstratified and kept at a nearly uniform temperature by convective mixing. The mean Ts-Tb difference is then only -0.1 degrees and the standard deviation from the mean difference is 0.5 degrees. When the surface layer is stratified (temperature at the 1-metre depth is greater than 4 degrees), the surface temperature (Ts) is, on average, 0.4 degrees warmer than the 1-metre temperature (Tb) and incidence of greater temperature variability in the surface layer is indicated by the larger standard deviation of 1.0 degrees.

The results of the intercomparisons lead to the conclusion that from a climatological perspective there is no appreciable difference between the radiometric and the near-surface in situ water temperature measurement. The two are within 0.5 degree agreement most of the time.

1.3 Data Processing

The objective of this study was to determine the normal structure of the Great Lakes surface water temperature field and the normal variability in the field throughout the year. To do this, the grid point temperature data were used to compute the daily normal temperature and variability throughout the year at the grid point locations (refer to Maps 3-1, 4-1, 5-1 and 6-1). The normal lake-wide temperature and variability distribution for any day of the year could then be presented by contouring the respective plotted grid point values.

Calculation of normal daily temperatures and standard deviations could not be accomplished simply by working on sub-sets of data for each calendar day, because the data base consisted of random, irregularly distributed observations. Instead, the statistical parameters had to be derived by a regression method.

Les données du tableau illustrent la distribution des comparaisons à l'intérieur des fourchettes de Ts-Tb et des températures enregistrées au moyen des bouées. La fréquence des occurrences est indiquée en pourcentage entre parenthèses. Sous le tableau de distribution apparaissent le nombre d'observations, la différence moyenne (Ts-Tb) et l'écart type par rapport à la différence moyenne pour les deux amplitudes de température de bouées et pour toute la série de données.

Les données du tableau montrent que, globalement, les températures de TRS sont en moyenne de 0,3 degré plus chaudes que celles des températures de bouées, pour un écart type de 0,9 degré par rapport à la différence moyenne. Dans les cas où la température de la couche superficielle est inférieure ou égale à 4 degrés, celle-ci n'est pas stratifiée et sa température est quasi-uniforme sous l'effet du brassage de convection. La différence moyenne (Ts-Tb) n'est plus alors que de -0,1 degré et l'écart type par rapport à la différence moyenne est de 0,5 degré. Dans les cas où la couche supérieure est stratifiée (température supérieure à 4 degrés à 1 mètre de profondeur), la température de surface (Ts) est en moyenne de 0,4 degré plus chaude que la température à 1 mètre (Tb) et la présence d'une plus grande variabilité dans les températures correspond au plus grand écart type de 1,0 degré.

Le résultat des comparaisons montre que, d'un point de vue climatologique, il n'y a aucune différence appréciable entre les mesures radiométriques et quasi-superficielles in situ des températures de l'eau; les deux écarts types correspondent généralement à 0,5 degré.

1.3 Traitement des données

L'objet de la présente étude est de déterminer la structure normale du champ des températures des eaux de surface dans les Grands Lacs ainsi que la variabilité normale de ce champ au cours d'une année. Les données de température aux points de grille ont été utilisées pour calculer la température et la variabilité normale quotidienne pendant toute l'année à ces endroits (voir les cartes 3-1, 4-1, 5-1 et 6-1). La distribution normale de la température et de la variabilité pour tout le lac peuvent ensuite être présentées pour tous les jours de l'année en reliant les valeurs des points de grille.

Étant donné que la masse de données est constituée d'observations aléatoires, à distribution irrégulière, il n'a pas été possible de calculer les températures et les écarts types quotidiens normaux en utilisant simplement les sous-séries de données pour chaque jour. Il a fallu plutôt déterminer les paramètres statistiques au moyen d'une méthode de régression.

If all the available temperature observations at a grid point location are plotted on a temperature vs. Julian day number graph (Figure 1-1), the pattern of the random scatter suggests a sinusoidal curve, representing the annual water temperature cycle. If the curve is traced through the scatter such that the sum of the squares of the departures of the individual points from the curve is the smallest possible, the curve depicts the normal daily water temperature through the year. In addition, the dispersion of the points from this curve indicates the normal temperature variability.

The conventional objective solution of the problem is to postulate a mathematical function for the curve and derive the statistical parameters by regression techniques. However, a natural phenomenon or process - in this instance the annual water temperature cycle - seldom behaves according to a preconceived (and rigid) mathematical function. Usually, imposition of a mathematical function on the natural data scatter results in smoothing that ignores or exaggerates portions of the natural curve.

Fitting of mathematically defined curves to the data was initially considered, but the option was rejected on the basis of the general argument above, and past experience with this method. After some experimentation, a quasi-empirical method was adopted which yields a reasonably good approximation of the "best fit" curve to the data (as in Figure 1-1), and a measure of the data scatter around the curve, analogous to the standard deviation.

It must be pointed out that negative (ice surface) temperatures in the data base were adjusted prior to analysis, in order to incorporate ice-covered areas into the water temperature climatology. Ice temperatures per se, although they can be measured and used in particular applications, do not fit into a surface water temperature climatology. Along with the change of state, which occurs at the freezing point, the temperature and radiative characteristics of the surface also become entirely different. However, it is essential to the water temperature climatology that the ice-covered areas be delineated.

A problem is encountered in the calculation of the rate of change of temperature by a regression technique, if the data set used contains water and ice temperatures. When both open water and ice occur in the Great Lakes, the surface water temperature range is normally between 0 and 4 degrees. The temperature decreases from the warm water areas along a rather flat gradient to 0 degrees at the ice edge. The temperature of the ice surface, however, is usually

Si l'on rapporte sur un graphique "Température/jours juliens" (figure 1-1) toutes les observations disponibles pour un point de grille, on peut y superposer une courbe sinusoïdale correspondant au cycle annuel des températures de l'eau. Si l'on trace la courbe dans le nuage de dispersion de façon à ce que la somme des carrés des écarts de points individuels de la courbe soient la plus petite possible, la courbe reflète la température normale quotidienne de l'eau pendant toute l'année. De plus, la dispersion des points par rapport à cette courbe correspond à la variabilité normale des températures.

La solution objective classique au problème est de postuler une fonction mathématique pour la courbe et de déterminer par dérivation les paramètres statistiques au moyen de techniques de régression. Cependant, un phénomène ou processus naturel, dans ce cas-ci le cycle annuel des températures de l'eau, se comporte rarement comme une fonction mathématique préconçue et rigide. L'imposition d'une fonction mathématique à la disparition naturelle des données entraîne généralement un lissage qui écarte ou exagère certaines portions de la courbe naturelle.

On a pensé au départ à ajuster les courbes définies mathématiquement aux données, mais l'idée n'a pas été retenue pour les raisons qu'on vient de donner et à cause d'expériences antérieures. Après quelques essais, on a adopté une méthode quasi-empirique qui fournit une approximation relativement bonne de la courbe de "meilleur ajustement" aux données (comme à la figure 1-1) ainsi qu'une mesure de la dispersion des données de part et d'autre de la courbe, semblable à celle de l'écart type.

Soulignons que les températures négatives (surface de la glace) de la base de données ont été ajustées avant d'être analysées, afin d'incorporer à l'étude climatologique des températures de l'eau les secteurs couverts de glace. Les températures de la glace, bien qu'elles puissent être mesurées et être utilisées dans certains cas précis, n'ont pas leur place dans une étude de climatologie de la température des eaux de surface. En effet, en plus d'un changement d'état, qui se produit au point de congélation, les caractéristiques thermiques et radiatives de la surface changent aussi tout à fait. Il est cependant essentiel de délimiter les secteurs couverts de glace dans le cadre d'une étude climatologique des températures de l'eau.

Le calcul du taux de variation des températures au moyen d'une technique de régression connaît des problèmes dans le cas où la série de données contient des températures de l'eau et de la glace. Quand les Grands Lacs sont recouverts de zones de glace et de secteurs d'eau libre, la fourchette des températures des eaux de surface est généralement de 0 à 4 degrés. La température diminue de façon à peu près linéaire depuis les zones d'eau plus chaudes jusqu'à la bordure

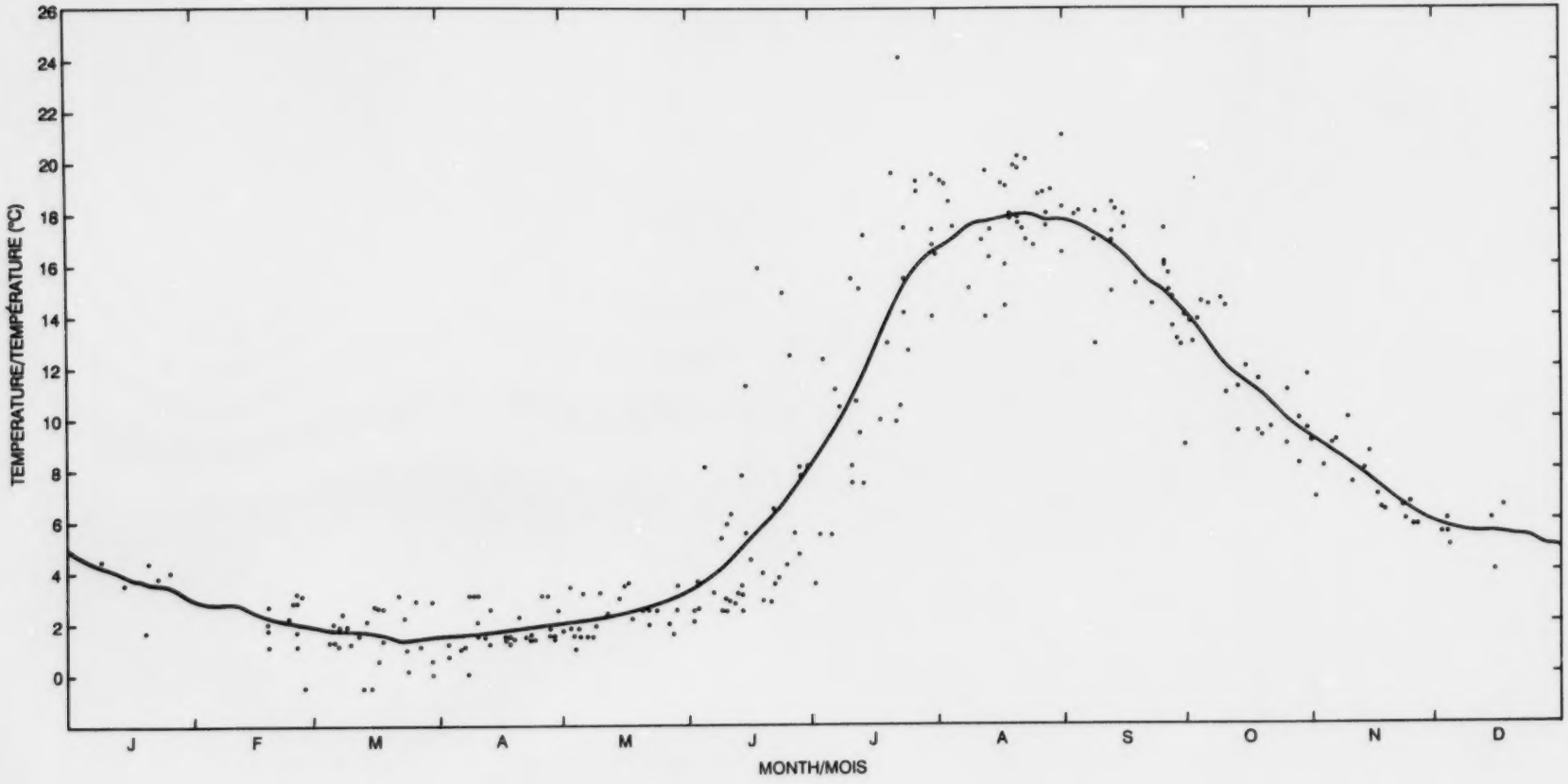


FIGURE 1-1 Lake Huron Grid Point #43: Plot of 284 available data points and temperature curve generated by regression

Point de grille n° 43, lac Huron : Tracé des 284 données ponctuelles disponibles et courbe des températures obtenues au moyen d'une régression

in the neighbourhood of the ambient air temperature and therefore can be much lower than 0 degrees. The step change to much lower temperatures at the ice edge steepens the slope of the linear regression through the data, causing unrealistically rapid extrapolation of the water temperature to zero degrees. The negative temperature bias creates erroneous indications in the climatology with respect to the occurrence of ice (too early in the fall, too late in the spring) and extent of ice cover during winter (too great).

Setting all ice temperatures to 0 degrees before the data are analyzed does not solve the problem. The slope of the regression line is then too small and the duration and extent of ice are underestimated in the climatology. Furthermore, setting ice temperatures to 0 degrees creates an ambiguous situation which lacks a clear differentiation between water and ice.

To circumvent the problem of negative temperatures biasing regression results, all observed temperatures in the data set of less than -0.5 degrees were re-set to -0.5 degrees. The arbitrary setting of the "ice point" at -0.5 degrees was justified by the fact that temperatures of -0.1 to -0.5 degrees were registered by ART survey flights on occasions when formation of ice crystals on the open water surface was observed.

Data were first sorted into subsets for the individual grid points. Linear least squares regressions of temperature and Julian day number were then performed on portions of data occurring within 31-day periods, the starting days for the periods being 1, 3, 5, ... 361, 363, 365. Thus, the regressions were successively over-lapped by 29 days through the 365 day cycle. The temperature (t) was calculated from the regression of each 31-day period for the middle day (m), middle-minus-two day (m-2) and middle-plus-two day (m+2), where the day (m) is the Julian day number central to the 31-day period. At this point, three temperature values, derived from three consecutive regressions, had been obtained for every second day of the year. For example:

Day Period	Temperature "t" Evaluated for Day Number in Brackets				
R1 1 - 31	t(14),	t(16 ,	t(18)		
R2 3 - 33		t(16 ,	t(18),	t(20)	
R3 5 - 35			t(18),	t(20),	t(22)

de glace (0 degré). La température de la surface de la glace correspond généralement à la température de l'air ambiant et peut donc être de beaucoup inférieure à 0 degré. L'abaissement brusque des températures à la limite de la glace se traduit par un raidissement de la courbe de régression linéaire, ce qui entraîne une extrapolation irréaliste des températures de l'eau jusqu'à 0 degré. A cause du biais négatif, les caractéristiques climatologiques ne correspondent pas à la réalité en ce qui concerne la présence de la glace (trop tôt à l'automne, trop tard au printemps) et à l'importance de la couverture de glace au cours de l'hiver (trop importante).

Le fait d'établir toutes les températures de glace à 0 degré avant d'entreprendre l'analyse des données ne résout pas le problème. En effet, la pente de la ligne de régression est alors trop faible et la durée et l'ampleur de la couverture de glace sont sous-estimées. En outre, l'établissement des températures de glace à 0 degré crée une situation ambiguë dans laquelle la distinction entre glace et eau n'est pas toujours claire.

Afin de résoudre ce problème, on a établi à -0,5 degré toutes les données observées inférieures ou égales à -0,5 degré. L'établissement arbitraire du "point de gel" à -0,5 degré a été justifié par le fait que des températures de -0,1 à -0,5 degré ont été enregistrées lors de levés réalisés au moyen de TRA, à des moments où l'on a constaté la formation de cristaux de glace sur des surfaces d'eau libre.

On a d'abord réparti les données en sous-séries pour chacun des points de grille. On a ensuite effectué des régressions linéaires des moindres carrés des températures et des jours juliens sur des portions de données correspondant à des périodes de 31 jours, le premier jour des périodes étant 1, 3, 5, ... 361, 363, 365. Les régressions qui couvraient un cycle de 365 jours sechevauchaient donc de 29 jours en 29 jours. La température (t) a été calculée à partir de la régression de chacune des périodes de 31 jours pour le jour du milieu (m), le jour du milieu moins 2 (m-2) et le jour du milieu plus 2 (m+2), où (m) est le jour julien du milieu de la période de 31 jours. On disposait à ce moment de trois valeurs de températures obtenues par dérivation à partir de trois régressions consécutives pour chaque deuxième jour de l'année. Par exemple :

période donné	la température "t" est évaluée pour le jour entre parenthèses				
R1 1 - 31	t(14),	t(16),	t(18)		
R2 3 - 33		t(16),	t(18),	t(20)	
R3 5 - 35			t(18),	t(20),	t(22)

The normal temperature (T) for day (m2) was calculated as follows:

$$T(m2) = [t(m1+2,R1)+t(m2,R2)+t(m3-2,R3)]/3$$

where: R1, R2, R3 are three consecutive over-lapped regressions,

m1, m2, m3 are the respective Julian day numbers of the middle day of the 31-day period used in each regression;

in the example above, m2 is Julian day number 18.

The corresponding measure of temperature variability for day m2, called "standard deviation" (SD), was obtained by averaging the standard error of estimate (SE) of the three consecutive regressions, where day m2 is the middle day of regression R2:

$$SD(m2) = [SE(R1)+SE(R2)+SE(R3)]/3$$

This procedure returned the means and standard deviations for the even-numbered Julian days 2, 4, 6, etc., at the individual grid points. Values for the odd-numbered days were obtained by interpolating between the computed values. In order to produce similar statistics for the lake as a whole, the lake-wide average surface temperature of each of the individual surveys was computed first, using the appropriate data sub-sets. Afterwards, regressions were run on the lake-wide averaged temperature data and T(m) and SD(m) obtained by the same procedure.

Daily mean temperature and standard deviation were computed for each of the 365 days of the year, for every grid point and for each lake as a whole. For Lake Superior, Lake Huron and Georgian Bay, regressions had to be performed on 41-day periods during parts of the winter season, due to scarcity of data.

The lake-wide daily mean temperature and standard deviation tables and the annual temperature curves shown in Sections 3, 4, 5 and 6 are based directly on the results of the data analyses, as described above. The beginning-of-month and middle-of-month temperature/variability maps were constructed by plotting the computed grid point temperature and standard deviation values for the corresponding Julian day and then contouring the temperature and variability patterns.

La température normale (T) pour le jour (m2) a été calculée de la façon suivante :

$$T(m2) = [t(m1+2,R1)+t(m2,R2)+t(m3-2,R3)]/3$$

où : R1, R2, R3 sont trois régressions consécutives qui se chevauchent,

m1, m2, m3 sont les jours juliens respectifs du jour du milieu de la période de 31 jours utilisée pour chacune des régressions.

dans l'exemple présenté, m2 correspond au jour julien 18.

On a obtenu la mesure correspondante de la variabilité de la température pour le jour m2, dite "écart type" (ÉT) en déterminant la moyenne de l'erreur type d'estimation (ETE) des trois régressions consécutives, où le jour m2 est le jour du milieu de la régression R2 :

$$ÉT(m2) = [ETE(R1)+ETE(R2)+ETE(R3)]/3$$

Cette technique a permis d'obtenir des moyennes et des écarts types pour les jours juliens pairs : 2, 4, 6, etc., à chacun des points de grille. Les valeurs pour les jours impairs ont été obtenues par l'interpolation des valeurs calculées. Afin de produire des statistiques semblables pour le lac en entier, la température de surface moyenne de tout le lac de chacun des levés individuels a d'abord été calculée, à l'aide des sous-séries de données appropriées. Ensuite, on a appliqué les régressions aux données de températures moyennes dans le lac et on a obtenu T(m) et ÉT(m) au moyen de la même méthode.

On a calculé la température et l'écart type moyens quotidiens de chacun des 365 jours de l'année pour chacun des points de grille et pour chaque lac en entier. Dans le cas du lac Supérieur, du lac Huron et de la baie Georgienne, il a fallu effectué des régressions sur des périodes de 41 jours durant certaines parties de l'hiver à cause de la rareté des données.

Les tableaux des températures et des écarts types quotidiens moyens pour tout le lac et les courbes de température annuelles présentés aux sections 3, 4, 5 et 6 sont fondés directement sur les résultats des analyses des données, décrites ci-dessus. Les cartes de température/variabilité du début du mois et du milieu du mois ont été construites en rapportant les données de température et l'écart type des points de grille calculées pour les jours juliens correspondants, puis en traçant la courbe de température et de variabilité.

1.4 Interpretation of Maps and Tables

This section discusses the interpretation and use of the information contained by the maps and tables and explains the meaning of abbreviations used in the data presentation.

In the normal daily mean water temperature tables, each temperature value (T) is paired with a standard deviation value (SD). Taken together, the two values indicate the normal range of temperature for that date, which is (T) +/- SD. Temperatures that depart from the mean by more than one SD amount are considered somewhat unusual; those that depart by more than two SD amounts are considered unusual; departures of more than three SD amounts are very unusual. These climatological parameters are commonly used to describe the current state of a natural parameter - in this case water temperature - in a relative and comparative sense.

Keeping in mind that in the data the "ice point" was set to -0.5 degrees, if (T) has a negative value between - 0.1 and -0.4 degrees, the lake is normally partially ice-covered; if the negative value is -0.5 or less, the lake is normally completely ice-covered. The temperature range, established by (T)+/-(SD), is interpreted similarly. It should be noted, however, that the Great Lakes are rarely completely frozen over. Except for fast ice along shorelines and in sheltered bays, the cover consists of pan ice; some open water leads are usually found somewhere in the lake.

On the maps, lines of equal temperature (isotherms) are shown in black; lines of equal standard deviation, indicating temperature variability, are in red. For want of a specific name for lines of equal standard deviation, they are called isopleths in this report. The contour interval for temperature is 1 or 2 degrees, depending on the size of the temperature gradient; for standard deviation, the interval is 0.5 degrees.

The maps are interpreted basically in the same way as the tables. The map shows the lake-wide surface temperature gradient structure and the temperature variability pattern. The approximate values of the normal temperature and variability can be estimated at a point on the map by interpolating between the closest isotherms and isopleths, respectively.

The contour interval should be kept in mind when estimating values inside closed isotherm or isopleth areas and also in near-shore areas that lie outside the

1.4 Interprétation des cartes et des tableaux

Nous traitons ici de l'interprétation et de l'utilisation de l'information contenue dans les cartes et les tableaux et expliquons le sens des abréviations utilisées pour la présentation des données.

Dans les tableaux de températures normales quotidiennes de l'eau, chacune des valeurs de température (T) correspond à une valeur d'écart type (ÉT). Ces deux valeurs, considérées ensemble, correspondent à la fourchette normale de températures pour cette date (T) +/- (ÉT). Les températures qui s'écartent de la moyenne de plus d'une valeur d'ÉT sont considérées comme étant plutôt inhabituelles et celles qui s'écartent de deux ÉT sont considérées inhabituelles; les écarts de plus de trois ÉT sont très inhabituels. Ces paramètres climatologiques sont souvent utilisés pour décrire l'état actuel d'un paramètre naturel, dans ce cas-ci la température de l'eau, aux sens relatif et comparé.

La "température de fusion de la glace" ayant été établie dans les données à -0,5 degré, si (T) a une valeur négative comprise entre -0,1 et -0,4 degré, le lac est en général couvert de glace en partie; si la valeur négative est inférieure ou égale à -0,5, le lac sera généralement complètement couvert de glace. La fourchette des températures, donnée par (T)+/-(ÉT) est interprétée de la même façon. Il faut cependant noter qu'il arrive rarement que les Grands Lacs soient complètement gelés. Mise à part la banquise côtière fixée au rivage et présente dans les baies abritées, la surface est recouverte de glace en crêpes; on observe généralement quelques zones d'eau libre.

Sur les cartes, les lignes d'égales températures (isothermes) sont en noir, les lignes d'égaux écarts types, correspondant à la variabilité de la température, sont en rouge. Ne disposant pas de terme pour désigner les lignes reliant les écarts types de même valeur, nous les appellerons ici des isoplètes. L'intervalle des isothermes est de 1 ou 2 degrés, selon l'importance du gradient de température, pour l'écart type, l'intervalle est de 0,5 degré.

On interprète en gros les cartes de la même façon que les tableaux. Les cartes présentent la structure du gradient des températures de surface à l'échelle de tout le lac ainsi que la variabilité des températures. Les valeurs approximatives des températures et variabilités normales peuvent être estimées en un point sur la carte par l'interpolation, respectivement des isothermes et des isoplètes.

Il faut tenir compte de l'intervalle des isolignes lorsqu'il s'agit d'estimer des valeurs qui se trouvent à l'intérieur d'isothermes ou d'isoplètes fermés ou

contoured field. The closed areas indicate "highs" or "lows", which, to clarify the gradient structure, are often designated by the greater-than ">" and less-than "<" symbols for the temperature field, and by "+" and "-" signs for the variability field. In most instances, the symbol is accompanied by a numerical value. These symbols are also found in near-shore areas. The user can assume that the temperature within a closed-isotherm area, or in a near-shore area, lies somewhere in the range between the value of the nearest isotherm and that value plus or minus (as the case may be) the contour interval. The same applies to interpretation of the temperature variability pattern. It must be noted that the maps do not purport to show accurately the water temperature and variability close to the shore of a lake.

A standard deviation isopleth of 0.0 degrees is sometimes found on the maps, in regions where the water temperature is indicated as less than zero degrees. In this configuration, the 0-degree isotherm delineates the region where ice is normally found to occur; the 0.0-degree standard deviation isopleth outlines areas within the ice-bearing region that are almost always ice-covered. Where the standard deviation is greater than 0.0 degrees inside the ice-bearing region, both ice and open water can occur.

The discussion of the beginning-of-month and middle-of-month maps is focused on the trends and salient features in the temperature and variability fields. The temperature isotherm and standard deviation isopleth patterns and configurations are interpreted with reference to the factors that control the surface temperature structure in the Great Lakes: solar radiation, wind, cloudiness, circulation within the water mass and the bathymetry of the lake.

For the sake of brevity, certain repetitive terms are often abbreviated in the map discussion: thus a range in temperature that is from somewhat less than 2.0 degrees to somewhat greater than 2.5 degrees is given as "2.0- to 2.5+"; a narrow temperature range in the neighbourhood of 2.0 degrees is given as 2.0+/-. Similarly, a low or high in the temperature and variability fields is designated as, for example, 2- and 2+ degrees. Reference to a specific location in a lake in terms of a grid point is abbreviated to "GP".

dans les zones littorales, à l'extérieur du champ représenté. Les isolignes fermées désignent des valeurs "élevées" ou "faibles" qui, pour éviter les erreurs, sont souvent désignées par le symbole ">" (supérieur à) ou "<" (inférieur à) dans le cas du champ thermique et par "+" et "-" dans le cas du champ de variabilité. Dans la plupart des cas, le symbole s'accompagne d'une valeur numérique. On observe aussi ces symboles dans les zones littorales. L'utilisateur peut supposer que la température dans un isotherme fermé, ou dans une zone littorale, se situe entre la valeur de l'isotherme le plus proche et cette valeur plus ou moins (selon le cas) l'intervalle de l'isoligne. On interprète de la même façon la variabilité des températures. Il faut noter que les cartes ne prétendent pas illustrer de façon précise la température de l'eau et la variabilité près des rives d'un lac.

On retrouve parfois sur certaines cartes un isoplète de 0,0 degré dans les régions où les températures de l'eau sont inférieures à 0 degré. Dans ce cas, l'isotherme de 0 degré délimite la région où s'observe généralement de la glace; l'isoplète de 0,0 degré correspond à des régions, à l'intérieur des secteurs, à l'intérieur des régions couvertes de glace, qui sont presque toujours recouverts de glace. Dans les cas où l'écart type est supérieur à 0,0 degré dans la région couverte de glace, de la glace et des zones libres peuvent toutes deux s'observer.

La discussion des cartes de début du mois et de milieu du mois porte essentiellement sur les tendances et les caractéristiques principales des champs thermiques et de variabilité. Les configurations de l'isotherme et des isoplètes (écart type) sont interprétées en fonction de facteurs qui ont un effet sur la structure des températures de surface des Grands Lacs : le rayonnement solaire, le vent, la nébulosité, la circulation dans la masse d'eau et la bathymétrie du lac.

Pour des raisons de concision, certains termes répétitifs sont souvent présentés sous forme abrégée dans le cadre de la discussion sur les cartes : ainsi, une fourchette de températures qui va d'environ 2,0 degrés à un peu plus de 2,5 degrés est exprimée sous la forme suivante : "2,0- à 2,5+"; une étroite fourchette de températures voisine de 2,0 degrés est exprimée par : "2,0+/-". De même, un minimum ou un maximum dans les champs de températures et de variabilité est désigné, par exemple, par 2- et 2+ degrés. Un endroit précis dans un lac est désigné par le point de grille correspondant "PG".

SECTION 2

GREAT LAKES WATER TEMPERATURE REGIME

RÉGIME DES TEMPÉRATURES DE L'EAU DES GRANDS LACS

SECTION 2 GREAT LAKES WATER TEMPERATURE REGIME

Section 2 contains a general description of the annual temperature cycle of the Great Lakes and the physical processes that take place in the large water masses, as they alternately absorb and lose heat with the passing of the seasons. The structure of the surface temperature field and temperature trends at different times of the year in the individual lakes are discussed in the sections that follow.

2.1 Great Lakes Annual Surface Water Temperature Cycle

The behaviour of the annual surface water temperature cycle and the spread of the minimum to maximum temperature range in a lake depend on the lake's heat budget. The budget is accounted for by the amounts of heat energy entering, leaving and being stored in the water mass through the year. The incoming and outgoing heat components are governed by the climatic setting; the storage component by the depth and water volume of the lake.

The climatic setting also determines the heat distribution in, and thermal structure of, the water mass. If one imagines an undisturbed body of water being exposed to an invariant source of radiation, heat absorption and temperature in that water mass would decrease exponentially downward from the surface, and the density of the water would increase exponentially with depth. However, this condition does not exist in nature, because of variations in incoming solar energy, evaporative and radiative cooling of the surface, and downward transport of heat by convective and wind-induced turbulent mixing in the water mass.

Depending on the amount and direction of surface heat flux and the depth of mixing, the water mass becomes stratified into layers having different density and temperature. As a result, the thermal structure of the lake can be complex and changeable, depending on the climatological regime of the region. A stable, almost isothermal structure is maintained only in the lakes of tropical regions, where the incoming and outgoing heat components remain almost constant throughout the year.

The Great Lakes are situated in the temperate climatic zone, between 41 and 49 degrees North latitude. The temperate zone is characterized by large seasonal changes in insolation, resulting in relatively cold winters and warm summers. Correspondingly, the surface water temperatures of the Great Lakes

SECTION 2 RÉGIME DES TEMPÉRATURES DE L'EAU DES GRANDS LACS

La deuxième section comporte une description générale du cycle annuel des températures des Grands Lacs et des processus physiques qui s'observent dans l'importante masse d'eau qui absorbe et émet en alternance de la chaleur avec le passage des saisons. On traite, dans les sections qui suivent, de la structure du champ de températures de surface et des tendances thermiques pour divers moments de l'année dans chacun des lacs.

2.1 Cycle annuel des températures des eaux de surface des Grands Lacs

Le comportement du cycle annuel des températures des eaux de surface et l'ampleur de la fourchette des températures minimale et maximale d'un lac dépendent du bilan thermique du lac. Le bilan correspond aux quantités d'énergie thermique qui entrent dans la masse d'eau, qui en sortent et qui y sont emmagasinées au cours de l'année. Les apports et les déperditions de chaleur sont gouvernés par le climat et l'emmagasinement par la profondeur et le volume d'eau du lac.

Le climat détermine aussi la distribution de chaleur dans la masse d'eau et la structure thermique de celle-ci. Si l'on imagine une masse d'eau non perturbée, exposée à une source invariable de rayonnement, l'absorption de chaleur, donc la température de la masse d'eau, diminuent de façon exponentielle de la surface vers le fond, et la densité de l'eau augmente de façon exponentielle proportionnellement à la profondeur. Cet état n'existe cependant pas dans la nature, vu les variations de l'énergie solaire descendante, le refroidissement par rayonnement et par évaporation à la surface et le transport de chaleur vers le bas dans la masse d'eau par le brassage convectif et turbulent engendré par le vent dans la masse d'eau.

Selon l'importance du flux thermique à la surface et la direction dans laquelle celui-ci pénètre dans l'eau et selon l'épaisseur de la couche mélangée, la masse d'eau se partage en strates de température et densité différentes. La structure thermique du lac peut donc être complexe et variable dans le temps, selon le régime climatologique de la région. Seuls les lacs des régions tropicales, où les apports et les déperditions de chaleur demeurent à peu près constants toute l'année peuvent avoir une structure stable quasi-isotherme.

Les Grands Lacs sont situés dans la zone climatique tempérée, entre 41 et 49 degrés de latitude nord. La zone tempérée se caractérise par des variations saisonnières importantes du rayonnement solaire descendant, des hivers relativement froids et des étés relativement chauds. Les températures des eaux

fall to the freezing point (0 degrees) in winter; when ice forms, the over-all lake surface temperature can be below 0 degrees. In summer, surface water temperatures can exceed 20 degrees.

Unlike other substances, water reaches maximum density while still in the liquid state, at 4 degrees. Consequently, density stratification in the Great Lakes alternates between the summer type - surface layer least dense and warmest, and the winter type - surface layer least dense and coldest.

There are discernible differences between the surface temperature regimes of the individual Great Lakes. The temperature regimes differ because of differences in location (southern vs. northern latitude), depth of the lake and the volume of water in each lake. The temperature regimes can be compared with the aid of the Great Lakes physiographic data in Table 2-1, the monthly and annual mean surface water temperatures in Table 2-2, and the minimum and maximum surface water temperatures and average rates of daily temperature change in Table 2-3.

Lake Erie is the southernmost and shallowest of the Great Lakes and it has the smallest volume of water. Therefore, the Lake Erie water mass heats up and cools down faster than the others, and its surface temperature attains the highest maximum and lowest minimum (with ice cover included). The daily rate of surface temperature increase in Lake Erie during March, April and May is double that of the other Great Lakes; the rate of temperature decrease in October, November, and December likewise exceeds the rates in the other lakes.

Lake Superior is the northernmost and deepest and has the largest volume of water. It has the largest heat storage capacity of all of the Great Lakes. Due to both the northernmost location and the greater amount of solar energy required for heating the water mass, the maximum surface water temperature in Lake Superior is the lowest of all the Great Lakes. The daily rate of surface water temperature increase, from April through June, and the rate of temperature decrease in the fall are also the smallest in Lake Superior.

Lake Ontario, Lake Huron and Georgian Bay rank between Lake Erie and Lake Superior with respect to depth and they are centrally located in the Great Lakes region. The August monthly mean surface water temperatures and the temperature maxima and minima correspond with the relative latitudinal positions of these three water bodies. Georgian Bay is the smallest of the Great Lakes in terms of both surface area and volume. It is also the second northernmost lake. Therefore, it develops a more extensive winter ice cover than

de surface des Grands Lacs atteignent le point de congélation (0 degré) en hiver; lorsqu'il se forme de la glace, la température de surface de tout le lac peut être inférieure à 0 degré. En été, les températures peuvent dépasser 20 degrés.

Contrairement à d'autres substances, l'eau atteint sa densité maximale à l'état liquide à 4 degrés. La stratification de densité dans les Grands Lacs connaît donc une alternance entre le type estival (couche superficielle la moins dense et la plus chaude) et le type hivernal (couche superficielle la moins dense et la plus froide).

Il existe des différences perceptibles entre les régimes de températures de surface de chacun des Grands Lacs. Les régimes thermiques diffèrent à cause des différences d'emplacement (latitude plus ou moins nordique), la profondeur du lac et le volume d'eau dans chacun des lacs. On peut comparer les régimes thermiques à l'aide des données géographiques sur les Grands Lacs présentées au tableau 2-1, des températures de surface mensuelles et annuelles moyennes de l'eau (tableau 2-2) et des températures de surface minimales et maximales de l'eau et des taux de variation quotidienne des températures (tableau 2-3).

Le lac Érié est le plus au sud, le moins profond et le plus petit en terme de volume d'eau, des Grands Lacs. Sa masse se réchauffe donc et se refroidit donc plus vite que celle des autres; sa température superficielle atteint le maximum le plus élevé et le minimum le plus faible (couverture de glace comprise). Le taux quotidien d'augmentation des températures superficielles dans le lac Érié au cours des mois de mars, avril et mai, est deux fois celui des autres Grands Lacs; de même, le taux de diminution des températures en octobre, novembre et décembre est supérieur aux taux que connaissent les autres lacs.

Le lac Supérieur est le plus nordique, le plus profond et le plus important en terme de volume d'eau. C'est lui qui a la capacité de stockage de chaleur la plus grande de tous les Grands Lacs. Parce qu'il est situé plus au nord que tous les autres, et parce que la quantité d'énergie solaire nécessaire pour réchauffer sa masse est la plus importante, la température de surface maximale de l'eau dans le lac Supérieur est la plus faible des températures maximales enregistrées dans les Grands Lacs. Le taux quotidien d'augmentation de température des eaux de surface entre avril et juin et le taux de diminution des températures à l'automne sont aussi les plus faibles.

Le lac Ontario, le lac Huron et la baie Georgienne se classent entre les lac Érié et Supérieur en ce qui a trait à la profondeur; ils sont situés au centre de la région des Grands Lacs. Les températures mensuelles moyennes (août) de la surface de l'eau et les minimum et maximum de températures correspondent aux positions latitudinales relatives de ces trois plans d'eau. La baie Georgienne est le plus petit des Grands Lacs en termes de superficie et de volume. C'est aussi le deuxième le plus au nord; la couverture de glace y est donc plus

Lake Huron or Lake Ontario. The presence of the ice cover is reflected by the relatively low Georgian Bay minimum temperature and the smallest rate of daily temperature increase during the ice melt period in March.

The most rapid rate of surface water temperature increase occurs immediately after the formation of summer density stratification, because at this time the downward transport of heat, by convection or turbulent mixing, becomes more difficult and the incoming solar energy is concentrated in the surface layer. The largest rates of daily temperature increase occur in the months when summer stratification is completed: Lake Erie in May, Lake Ontario, Lake Huron and Georgian Bay in June, and Lake Superior in July.

TABLE 2-1
Great Lakes Physiographic Data

Lake	Erie	Ontario	Huron	Georgian Bay	Superior
Location (Lat. N)	42.8 to 41.4	44.2 to 43.2	46.0 to 43.0	46.0 to 44.4	49.0 to 46.5
Av. Depth (m)	18.9	86.3	64.8	43.7	149.1
Volume of Water (km^3)	484	1638	2879	660	12234
Surface Area (km^2)	25667	19010	44462	15108	82103

importante que sur les lacs Huron ou Ontario. La présence d'une couverture de glace se traduit par un minimum relativement faible pour la baie Georgienne et le plus petit taux d'augmentation quotidienne des températures au cours de la période de fonte des glaces en mars.

Le taux d'augmentation des températures des eaux de surface le plus rapide se produit immédiatement après la formation d'une stratification estivale de densité, parce qu'à cette époque le mouvement descendant de la chaleur, par brassage turbulent ou convectif, devient plus difficile et le rayonnement solaire descendant se concentre dans la couche supérieure. Les plus importants taux d'augmentation quotidienne se produisent pendant les mois où la stratification estivale est achevée : en mai pour le lac Érié, en juin pour le lac Ontario, le lac Huron et la baie Georgienne, et en juillet pour le lac Supérieur.

TABLEAU 2-1
Données physiographiques sur les Grands Lacs

lac	Érié	Ontario	Huron	baie Georgienne	Supérieur
emplacement (Lat. N)	42,8 à 41,4	44,2 à 43,2	46,0 à 43,0	46,0 à 44,4	49,0 à 46,5
prof. moyenne (m)	18,9	86,3	64,8	43,7	149,1
volume d'eau (km^3)	484	1638	2879	660	12234
superficie (km^2)	25667	19010	44462	15108	82103

TABLE 2-2

Normal Monthly and Annual Mean Surface Water Temperature in the Great Lakes, (Deg. C)

Lake	Erie	Ontario	Huron	Georgian Bay	Superior
Month					
Jan.	0.7	1.8	1.7	1.4	1.0
Feb.	-0.1	1.1	0.6	0.0	0.0
Mar.	0.8	1.4	0.7	0.1	0.4
Apr.	3.8	2.7	2.1	1.3	1.3
May	9.8	5.7	4.6	3.9	2.6
Jun.	16.8	12.0	9.9	9.8	5.1
Jul.	21.6	18.2	16.0	16.2	10.3
Aug.	22.9	20.2	18.8	18.7	14.5
Sep.	19.9	17.3	16.4	16.1	12.8
Oct.	14.9	12.5	11.7	12.0	9.2
Nov.	9.5	7.9	7.7	8.0	6.3
Dec.	4.3	4.4	4.5	4.7	3.6
Year	13.3	8.8	7.9	7.7	5.6

TABLE 2-3

Average Rate of Daily Surface Water Temperature Change and Normal Maximum and Minimum Temperature in the Great Lakes, (Deg. C)

Lake	Erie	Ontario	Huron	Georgian Bay	Superior
Month					
Jan.	-0.071	-0.055	-0.081	-0.084	-0.071
Feb.	*Mn -0.4	Mn 1.0	Mn 0.3	Mn -0.2	Mn -0.2
Mar.	+0.048	+0.023	+0.029	+0.016	+0.026
Apr.	+0.143	+0.063	+0.053	+0.050	+0.037
May.	+0.232	+0.135	+0.113	+0.132	+0.052
Jun.	+0.190	+0.230	+0.210	+0.217	+0.117
Jul.	+0.100	+0.145	+0.168	+0.161	+0.184
Aug.	**Mx 23.3	Mx 20.7	Mx 19.0	Mx 19.0	Mx 15.1
Sep.	-0.130	-0.130	-0.137	-0.130	-0.113
Oct.	-0.171	-0.152	-0.135	-0.126	-0.100
Nov.	-0.173	-0.137	-0.123	-0.117	-0.103
Dec.	-0.139	-0.094	-0.081	-0.106	-0.077

*Mn=Minimun Temperature **Mx=Maximum Temperature

TABLEAU 2-2

Températures moyennes annuelles et mensuelles normales des eaux de surface des Grands Lacs (degrés C)

lac	Érié	Ontario	Huron	baie Georgienne	Supérieur
mois					
janv.	0,7	1,8	1,7	1,4	1,0
fév.	-0,1	1,1	0,6	0,0	0,0
mars	0,8	1,4	0,7	0,1	0,4
avr.	3,8	2,7	2,1	1,3	1,3
mai	9,8	5,7	4,6	3,9	2,6
juin	16,8	12,0	9,9	9,8	5,1
juil.	21,6	18,2	16,0	16,2	10,3
août	22,9	20,2	18,8	18,7	14,5
sept.	19,9	17,3	16,4	16,1	12,8
oct.	14,9	12,5	11,7	12,0	9,2
nov.	9,5	7,9	7,7	8,0	6,3
déc.	4,3	4,4	4,5	4,7	3,6
année	13,3	8,8	7,9	7,7	5,6

TABLEAU 2-3

Taux moyen de variation quotidienne de la température de surface des eaux et minimum et maximum normaux dans les Grands Lacs (degrés C)

lac	Érié	Ontario	Huron	baie Georgienne	Supérieur
mois					
janv.	-0,071	-0,055	-0,081	-0,084	-0,071
fév.	*Mn -0,4	Mn 1,0	Mn 0,3	Mn -0,2	Mn -0,2
mars	+0,048	+0,023	+0,029	+0,016	+0,026
avr.	+0,143	+0,063	+0,053	+0,050	+0,037
mai	+0,232	+0,135	+0,113	+0,132	+0,052
juin	+0,190	+0,230	+0,210	+0,217	+0,117
juil.	+0,100	+0,145	+0,168	+0,161	+0,184
août	**Mx 23,3	Mx 20,7	Mx 19,0	Mx 19,0	Mx 15,1
sept.	-0,130	-0,130	-0,137	-0,130	-0,113
oct.	-0,171	-0,152	-0,135	-0,126	-0,100
nov.	-0,173	-0,137	-0,123	-0,117	-0,103
déc.	-0,139	-0,094	-0,081	-0,106	-0,077

*Mn=température minimale **Mx=température maximale

2.2 Great Lakes Surface Water Temperature Patterns

Vertical and horizontal temperature gradients are found in the Great Lakes during most of the year, due to differences in heating and cooling rates between shallow and deep areas and stratification of the water masses into layers of different density and temperature. The basic thermal structure, resulting from density stratification and associated differences in heat transport and storage, is modified by other physical factors. The physiographic features of the Great Lakes - depth, shape and orientation of the basins - impose a certain shape on the internal thermal structure and on the surface temperature patterns.

During the spring - early summer period, and the late fall - winter period, the surface temperature pattern generally conforms to lake depth, because of more rapid heating and cooling in shallow water.

During the late summer - early fall period the surface temperature pattern is shaped primarily by the prevailing westerly winds of the region. The westerly winds, in combination with the Coriolis force (geostrophic acceleration induced by the rotation of the earth), maintain the general surface circulation pattern in the Great Lakes, as shown by Harrington [12] in Map 2-1. The transport of surface water by this circulation also influences the surface temperature field.

Wind is also responsible for major alterations of the internal thermal structure of the water mass. If the wind direction remains constant for a day or so, large amounts of surface water are transported away from the up-wind shore and slightly to the right of the down-wind direction. Compensatory upwelling of sub-surface water takes place along the up-wind shore.

In the summer and early fall months, when strong vertical temperature gradients are found in the density-stratified surface layer, the upwelling creates zones of very cold surface water temperatures along the up-wind shores of the Great Lakes. Figure 2-1, after Csanady [13], shows the change in the Lake Ontario thermal structure after a northwesterly wind episode. Because of the prevalent westerly wind direction, the upwelling zones are most often found along the western and northern shores. Therefore, in summer the surface temperature climatology shows a general trend from the lowest temperatures along the northwestern to the highest along the southeastern shores.

2.2 Configurations des températures des eaux de surface des Grands Lacs

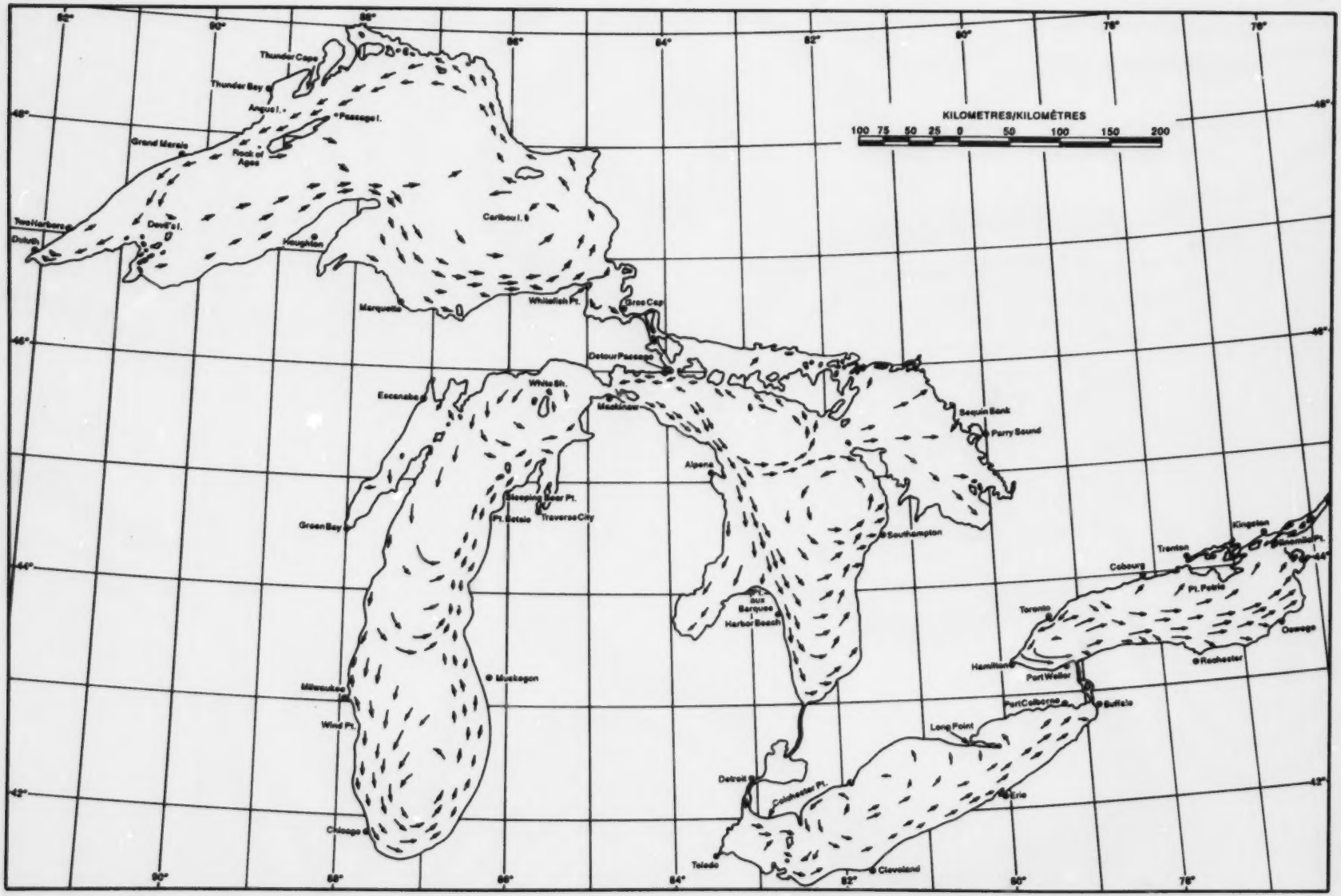
Des gradients verticaux et horizontaux de température s'observent dans les Grands Lacs durant la majeure partie de l'année, à cause de différences dans les taux de réchauffement et de refroidissement dans les régions profondes et peu profondes et de la stratification des masses d'eau en couches de températures et de densités différentes. La structure thermique de base, conséquence de la stratification de densité et des différences dans le transport et le stockage de chaleur qui l'accompagnent, est modifiée par d'autres facteurs physiques. Les caractéristiques physiques des Grands Lacs - profondeur, forme et orientation des bassins - dictent en partie la structure thermique interne et les configurations des températures de surface.

Au cours du printemps et du début de l'été, ainsi qu'à la fin de l'automne et en hiver, la configuration des températures de surface reflète généralement la profondeur du lac, à cause d'un refroidissement et d'un réchauffement plus rapides en eau peu profonde.

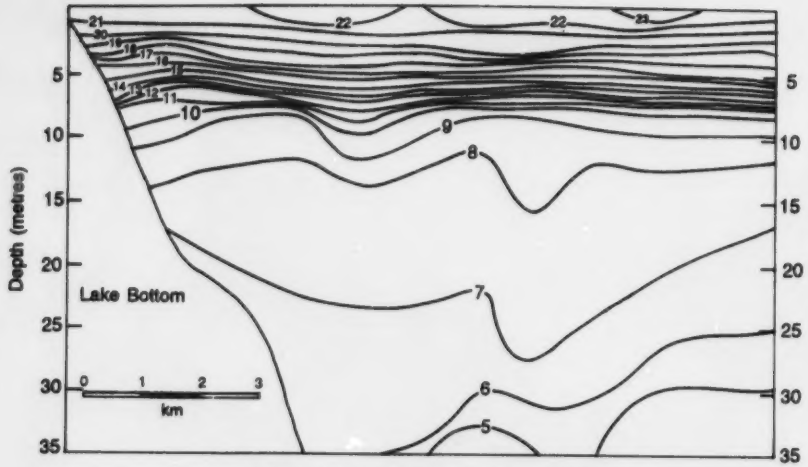
A la fin de l'été et au début de l'automne, la configuration des températures de surface est essentiellement liée aux vents d'ouest dominants dans la région. Les vents d'ouest, combinés à la force de Coriolis (accélération géostrophique produite par la rotation de la terre) maintiennent la configuration de la circulation de surface générale dans les Grands Lacs (voir carte 2-1, d'après Harrington [12]). Le transport de l'eau de surface sous l'influence de cette circulation a également un effet sur le champ thermique superficiel.

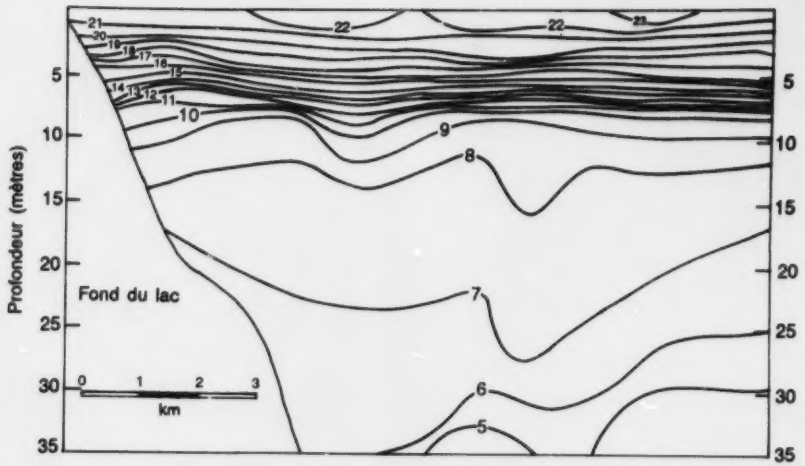
Le vent est également responsable d'importantes modifications de la structure interne de la masse d'eau. Ainsi, quand la direction du vent demeure constante un jour ou plus, d'importants volumes d'eau de surface s'éloignent de la rive au vent et s'écartent légèrement vers la droite de la direction du vent. Il se produit, en compensation, une remontée des eaux plus profondes le long de la rive exposée au vent.

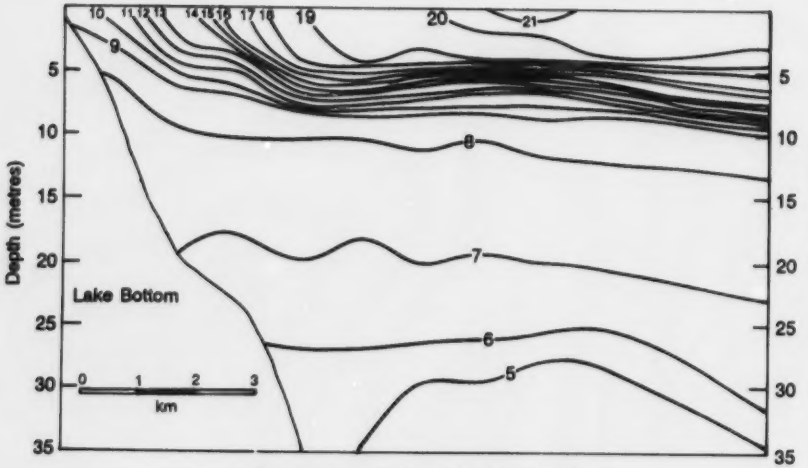
A l'été et au début de l'automne, lorsque que s'observent de forts gradients thermiques verticaux dans la couche superficielle stratifiée en fonction des diverses densités, les eaux de surface sont très froides le long des rives exposées au vent à cause du phénomène de remontée des eaux. La figure 2-1 (d'après Csanady [13]) présente la variation de la structure thermique dans le lac Ontario après un épisode de vents du nord-ouest. Parce que les vents dominants viennent généralement de l'ouest, les zones de remontée s'observent le plus souvent le long des rives de l'ouest et du nord. En été, les températures les plus faibles s'observent le long des rives nord-ouest et les températures les plus élevées le long des rives sud-est.



MAP/CARTE 2-1 CHART OF CURRENTS IN THE GREAT LAKES, FOLLOWING HARRINGTON
CARTE DES COURANTS DANS LES GRANDS LACS, D'APRÈS HARRINGTON







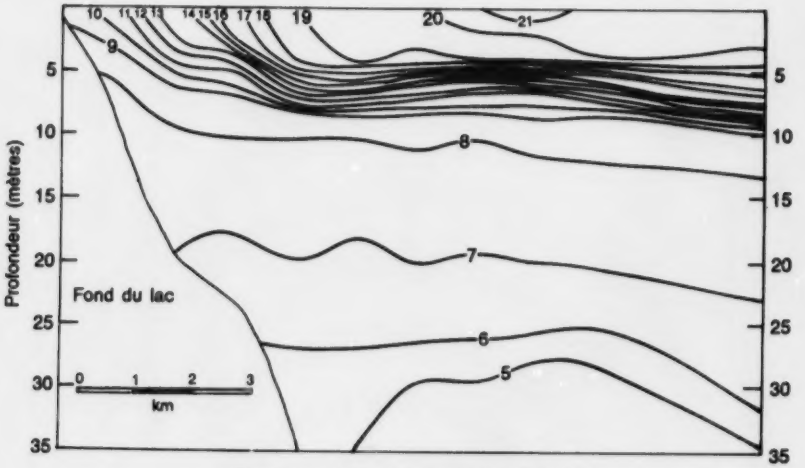


FIGURE 2-1 Change in thermal structure along north shore of Lake Ontario after a northwesterly wind impulse

FIGURE 2-1 Variation de la structure thermique le long de la rive nord du lac Ontario causée par un épisode de vents du nord-ouest

2.3 Great Lakes Seasonal Thermal Structure

According to the general classification of lakes by Hutchinson [14], the Great Lakes belong in the group known as deep dimictic lakes. Dimictic lakes are characterized by distinct stages of winter and summer stratification, separated by periods of transition, in spring and fall, when mixing to depth takes place in the water mass. A simplified representation of the Great Lakes thermal structure during the four seasonal phases is given in Figure 2-2, reproduced from Section 4 of Appendix 4 of the Great Lakes Basin Framework Study by the Great Lakes Basin Commission [15].

Lake Erie does not quite fit into the dimictic lakes class. Being much shallower than the other Great Lakes (refer to Table 2-1 and Maps 3-2, 4-2,

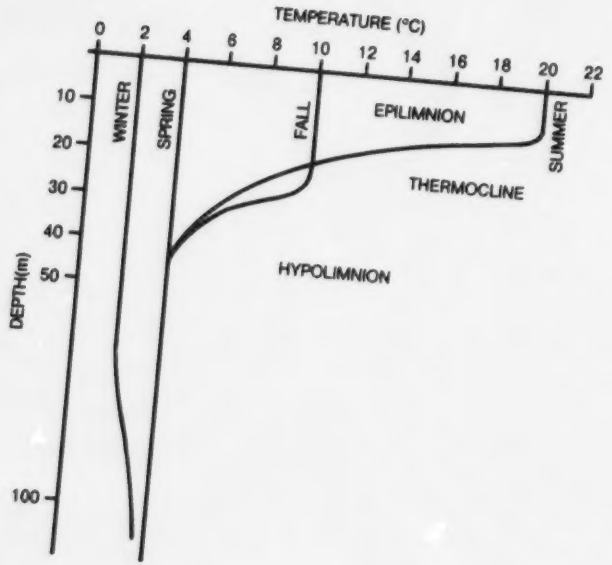


FIGURE 2-2
Great Lakes Seasonal Thermal Structure

2.3 Structure thermique saisonnière des Grands Lacs

D'après la classification générale des lacs établie par Hutchinson [14], les Grands Lacs feraient partie du groupe des lacs profonds dimictiques. Ces lacs se caractérisent par des périodes distinctes de stratification estivales et hivernales, séparées par une transition, au printemps et en automne, où se produit un brassage en profondeur. Une représentation simplifiée de la structure thermique des Grands Lacs au cours des quatre périodes saisonnières est illustrée à la figure 2-2, tirée de la section 4 de l'annexe 4 de la Great Lakes Basin Framework Study réalisée par la Great Lakes Basin Commission [15].

Le lac Érié n'est pas tout à fait dimictique puisqu'il est beaucoup moins profond que les autres Grands Lacs (voir tableau 2-1 et cartes 3-2, 4-2, 5-2A,

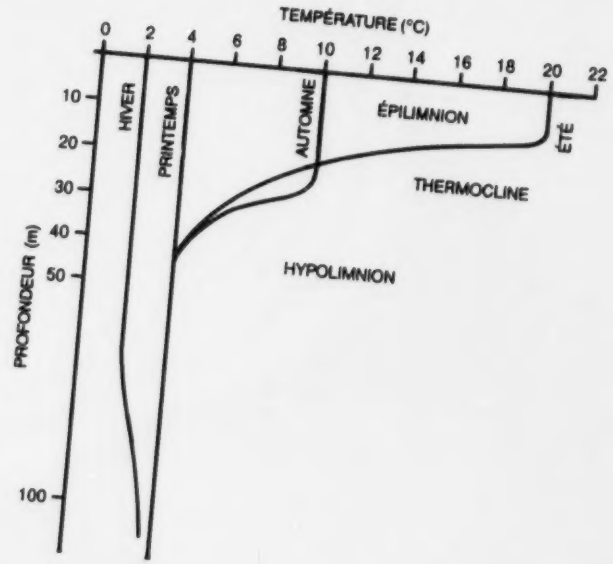


FIGURE 2-2
Structure thermique saisonnière des Grands Lacs

5-2A, 5-2B, and 6-2), it does not have a well-developed winter stratification phase, but behaves more like a well-mixed monomictic (stratified in summer only) lake [16].

However, for discussion purposes, the annual temperature cycle of all the lakes, including Erie, can be conveniently divided into the four seasonal phases:

1. winter stratification,
2. spring overturn,
3. summer stratification, and
4. fall overturn.

2.3.1 *Winter Stratification*

Winter stratification in the Great Lakes begins when the well-mixed isothermal water mass - produced by the fall overturn process - cools to the temperature of maximum density for fresh water, i.e., 4 degrees. Further surface cooling creates a density-stratified water mass, with cooler and lighter surface layers floating on top of a warmer, nearly isothermal central core which cools slowly during the winter from the temperature of maximum density down to a temperature of about 2 to 3 degrees. In Lake Erie, however, winter stratification exists only temporarily in the deepest area southeast of Long Point, before the relatively shallow waters cool throughout to a nearly isothermal temperature of less than 1 degree [17], [24].

Onset of winter stratification in the Great Lakes is detected in early December, when the water temperature falls below 4 degrees in the shallow near-shore waters. In the deeper regions, the surface temperature remains at 4 degrees. The unequal cooling rates are depth-related; the water mass in the deeper regions has a greater heat storage capacity and it cools at a slower rate.

As cooling progresses, the surface 4-degree isotherm retreats toward the deepest region. Winter stratification is fully established when the 4-degree isotherm disappears completely from the surface of the lake.

The lakes continue to lose heat throughout the winter. Minimum surface temperatures are reached sometime from mid-February to mid-March. The time

5-2B et 6-2), le stade de stratification hivernale y est peu développé. Le lac Érié se comporte plus comme un lac monomictique (stratifié en été seulement) bien mélangé [16].

Aux fins de la présente discussion cependant, on peut distinguer dans le cycle annuel des températures de tous les lacs, y compris du lac Érié, quatre stades saisonniers :

1. stratification hivernale,
2. renversement printanier,
3. stratification estivale, et
4. renversement automnal.

2.3.1 *Stratification hivernale*

Dans les Grands Lacs, la stratification hivernale débute lorsque la masse d'eau isotherme bien mélangée, produite par le processus automnal de renversement, atteint la température de densité maximale de l'eau douce, c'est-à-dire, 4 degrés. Si le refroidissement en surface se poursuit, on observe une masse d'eau à stratification de densité dont les couches supérieures plus froides et plus légères flottent sur un noyau plus chaud, quasi- isotherme, qui se refroidit lentement au cours de l'hiver jusqu'à atteindre environ 2 à 3 degrés. Dans le lac Érié cependant, la stratification hivernale n'existe que temporairement dans la zone la plus profonde située au sud-ouest de la Pointe Longue, avant que les eaux relativement peu profondes refroidissent uniformément pour atteindre une température quasi-isotherme inférieure à 1 degré [17], [24].

On constate le début de la stratification hivernale dans les Grands Lacs au début décembre, lorsque la température de l'eau tombe sous 4 degrés dans la zone littorale peu profonde. Là où l'eau est plus profonde, la température de surface reste à 4 degrés. Les taux de refroidissement inégaux sont fonction de la profondeur; la masse d'eau dans les régions plus profondes ayant une capacité de stockage de la chaleur plus grande, refroidit plus lentement.

A mesure que se poursuit le refroidissement, l'isotherme de 4 degrés se déplace vers les régions où l'eau est plus profonde. La stratification hivernale est entièrement établie lorsque l'isotherme de 4 degrés disparaît complètement de la surface du lac.

Les lacs continuent à perdre de la chaleur au cours de l'hiver et les températures de surface minimum sont atteintes entre la mi-février et la mi-mars.

of minimum surface temperature is related to the amount of ice cover built up during the winter. In severe winters, minimum temperatures occur during the latter part of March.

The water masses of the Great Lakes, except for Lake Erie, remain weakly density-stratified during the winter. The temperature of the warmer and denser water in the deep regions remains in the 2 to 4 degree range while in the surface layer and in shallow near-shore areas temperatures can fall to the freezing point.

Normally, at the time of maximum ice cover, Lake Erie is almost completely covered with partially-consolidated pack ice. On the other lakes, fast ice is usually found in shallow sheltered areas but elsewhere ice cover is transitory. Although all the lakes can freeze over completely during intervals of very cold, calm weather conditions, the ice cover does not attain appreciable thickness and is soon broken up again by wind and wave action.

Most of the time, wind-induced turbulence in the surface layer and upwelling of warmer water along the northern and western shores of the Great Lakes bring sufficient heat to the surface to prevent the formation of a permanent, consolidated ice cover. Open water leads can appear at any time in the Lake Erie ice cover. On the other lakes, wind-driven, unconsolidated pack ice roams through the mid-lake regions during the winter. Therefore, both the amount and location of the ice pack on the Great Lakes can change from day to day.

The winter surface water temperature is limited to a range of 0 to 4 degrees; temperature gradients are also very small. In the early winter months, the unequal cooling rates in shallow and deep water maintain a depth-related surface temperature isotherm pattern. This relationship becomes vague in the latter part of winter, when the water mass as a whole approaches a nearly isothermal state.

Surface temperature variability (expressed by the standard deviation isopleth pattern) is also small in winter; in areas where ice cover may develop, it is between 0.0 and 0.5 degrees. In general, the early winter variability pattern conforms to the isotherm pattern. At the onset of winter stratification, variability is greater near shore, where the surface water has cooled to below 4 degrees, than in the deeper water which is still warmer than 4 degrees. At this stage, the surface temperature is kept within a narrow range by vertical mixing to depth in the nearly isothermal, slowly cooling central core of the water mass. Vertical mixing and transport of heat between the surface and sub-surface layers is reduced in the density-stratified near-shore zone, resulting in larger surface

Le moment exact dépend de la quantité de couverture de glace qui s'est accumulée au cours de l'hiver. Lors des hivers rigoureux, les températures minimum se produisent vers la fin de mars.

La stratification de densité demeure faible dans les Grands Lacs, sauf dans le lac Érié, durant l'hiver. La température de l'eau plus dense et plus chaude dans les régions profondes demeure dans la fourchette de 2 à 4 degrés tandis qu'à la surface et dans les zones littorales peu profondes, les températures peuvent atteindre le point de congélation.

Normalement, au moment où la couverture de glace atteint son maximum, le lac Érié est presque complètement couvert d'une banquise partiellement consolidée. Sur les autres lacs, la banquise côtière se trouve généralement dans les zones abritées où l'eau est peu profonde, mais ailleurs, la couverture de glace est morcelée. Bien que tous les lacs peuvent geler complètement par temps calme et très froid, la couverture de glace reste plutôt mince et se brise rapidement sous l'effet des vagues et du vent.

La plupart du temps, sous l'effet de la turbulence engendrée par le vent dans la couche superficielle et de la remontée d'eaux plus chaudes le long des rives nord et ouest des Grands Lacs, suffisamment de chaleur parvient à la surface pour empêcher la formation d'une banquise consolidée, permanente. Des chenaux d'eau libre apparaissent n'importe quand sur le lac Érié. Sur les autres lacs, le pack non consolidé dérive, poussé par le vent vers le centre du lac au cours de l'hiver. La quantité et la distribution du pack sur les Grands Lacs peuvent donc varier d'un jour à l'autre.

La température des eaux de surface en hiver se maintient entre 0 et 4 degrés; les gradients thermiques sont également très faibles. Au début de l'hiver, à cause des taux inégaux de refroidissement dans les eaux profondes et dans les eaux peu profondes, l'isotherme des températures est fonction de la profondeur. Ce rapport devient moins marqué vers la fin de l'hiver, lorsque toute la masse d'eau s'approcher d'un état quasi-isotherme.

La variabilité des températures de surface (exprimée par la configuration des isoplètes) est également faible en hiver; dans les endroits où peut se former une couverture de glace, elle varie entre 0,0 et 0,5 degré. En général, la configuration de la variabilité au début de l'hiver est conforme à la configuration des isothermes. Au début de la stratification hivernale, la variabilité est plus importante dans la zone littorale, où l'eau de surface s'est refroidie à moins de 4 degrés, que dans les eaux plus profondes, dont la température dépasse toujours 4 degrés. A ce moment, la fourchette des températures de surface est étroite sous l'effet du brassage vertical qui s'effectue en profondeur dans le noyau de la masse d'eau, quasi-isotherme et qui se refroidit lentement. Le brassage vertical

temperature variation in response to changing weather conditions. Later on in the season, when winter stratification is established over the entire lake, surface temperature variability is somewhat larger in the deep-water regions, where warmer water is occasionally brought to the surface by turbulent mixing.

During the late winter period of greatest ice concentration and minimum surface temperature, variability is small over-all, but slightly larger variabilities are encountered in areas that are more frequently ice-free due to upwelling.

2.3.2 *Spring Overturn*

By mid-March, ice in the Great Lakes begins to melt under increasing solar heating. During the melt period which extends into April, water temperature does not rise appreciably because most of the incoming solar energy is expended on melting of the ice. In confined near-shore locations, where the ice is more likely to melt in place, the water warms up rapidly after the ice is gone. But in the exposed reaches of the lake, traversed by wind-driven trains of melting ice fragments, surface water temperature remains nearly static during the melt period.

The warming of the water mass begins in the shallow near-shore zone and progresses to deeper regions in a depth-related fashion converse to that for winter cooling. When the surface water warms to 4 degrees, it becomes denser than the cooler water below. The denser water sinks and advects heat into the sub-surface layer until the entire water column is heated to 4 degrees - the temperature of maximum density. The process is appropriately called the "overturn". At this point, the convective downward transport of heat ceases; further surface heating establishes the summer stratification structure of warmer and lighter layers of water overlying cooler, heavier ones.

After the overturn, downward transport of heat takes place mainly by wind-induced mechanical mixing. Storage of the incoming solar energy is increasingly confined to the surface layer, in turn increasing the density differences between layers. A strong vertical temperature gradient forms in the density-stratified water column.

et le transport de chaleur entre les couches superficielles et subsuperficielles sont réduits dans la zone littorale à stratification de densité, ce qui entraîne des variations plus importantes de températures de surface sous l'effet des variations des conditions climatologiques. Plus tard dans la saison, quand la stratification hivernale est établie dans tout le lac, la variabilité des températures de surface est légèrement plus importante dans les régions d'eau profonde où, sous l'effet du brassage par turbulence, de l'eau plus chaude monte parfois à la surface.

Au cours de la fin de l'hiver, lorsque la concentration de glace est maximale et la température de surface minimale, la variabilité est faible partout, mais des variabilités légèrement plus grandes s'observent dans les zones moins souvent couvertes de glace à cause du processus de remontée d'eau.

2.3.2 *Renversement printanier*

A la mi-mars, la glace sur les Grands Lacs a commencé à fondre sous l'effet du réchauffement solaire plus intense. Au cours de la période de fonte qui s'étend jusqu'en avril, les températures de l'eau n'augmentent pas de façon appréciable puisque la majeure partie de l'énergie solaire descendante est utilisée pour fondre la glace. Dans les endroits littoraux abrités, où la glace fond en général sur place, l'eau se réchauffe rapidement dès que la glace disparaît. Par contre, dans les zones exposées du lac qui sont traversées par des trains de fragments de glace en fonte poussés par le vent, la température des eaux de surface reste presque statique au cours de la période de fonte.

Le réchauffement de la masse d'eau commence dans la zone littorale peu profonde et progresse vers les régions d'eau profonde selon un mode lié à la profondeur, à l'inverse de ce qui se produit pour le refroidissement hivernal. Lorsque l'eau de surface atteint 4 degrés, elle devient plus dense que l'eau plus froide sur laquelle elle repose. L'eau plus dense s'affaisse et transfère la réflexion de la chaleur dans la couche subsuperficielle jusqu'à ce que toute la colonne d'eau atteigne 4 degrés, température de densité maximale. C'est ce processus qu'on appelle le "renversement". A ce moment, le transport convectif de chaleur vers le bas cesse; le réchauffement superficiel qui se poursuit entraîne l'établissement de la stratification estivale (structure de couches d'eau plus chaudes et plus légères reposant sur les couches plus lourdes et plus froides).

Après le renversement, le transport de chaleur vers le bas se produit essentiellement sous l'effet du brassage mécanique dû au vent. L'énergie solaire descendante est de plus en plus emmagasinée dans la seule couche superficielle, ce qui contribue à accroître les différences de densité entre les couches. Un fort gradient vertical de température apparaît dans la colonne d'eau à stratification de densité.

In the deep-water regions, the spring overturn proceeds at a slower rate, because there the incoming energy is distributed through a much larger volume of water and it takes longer to heat the water mass to the temperature of maximum density. The advance of summer stratification from near-shore to deeper regions of a lake is, therefore, controlled by depth. On the surface of the lake its progress is indicated by the position of the 4-degree isotherm.

When all of the near-shore shallow water - from surface to the bottom - has been warmed to above 4 degrees, a sharp temperature front is established between the warm inshore and cold central core water masses along the 4-degree isotherm. Dense 4-degree water circulates downward along this contact between the two water masses, both of which are lighter than the 4-degree water.

This feature, shown schematically in Figure 2-3, is known as the "thermal bar" [18], because it effectively blocks mixing between the warm and cold water masses. The thermal bar manifests itself in the surface temperature pattern as a band of tightly-packed isotherms, shoreward from the 4-degree isotherm. As the season progresses, the thermal bar moves into deeper water, advancing faster in areas with gentle bottom topography and slowing down at the edges of abrupt shelf structures [19].

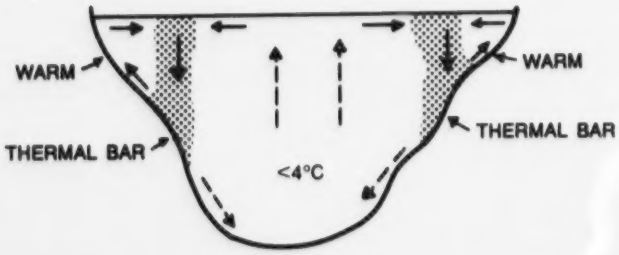


FIGURE 2-3
Structure of the "Thermal Bar"

Dans l'eau profonde, le renversement printanier se poursuit à un rythme plus lent, parce qu'à cet endroit, étant donné que l'énergie descendante se distribue dans un volume beaucoup plus important d'eau, il faut donc plus longtemps pour que la masse d'eau atteigne la température de densité maximale. La stratification estivale, qui débute près de la rive pour se terminer dans les régions d'eau profonde, est donc contrôlée par la profondeur. A la surface du lac, l'avancée de la stratification est marqué par la position de l'isotherme de 4 degrés.

Lorsque toutes les eaux peu profondes du littoral (de la surface jusqu'au fond) ont atteint une température supérieure à 4 degrés, un front de température abrupt s'établit entre les eaux côtières chaudes et le noyau central des masses d'eau le long de l'isotherme de 4 degrés. Il s'établit une circulation d'eau dense à 4 degrés qui descend le long de ce front entre les deux masses d'eau, toutes deux plus légères.

C'est ce qu'on appelle la "barrière thermique" illustrée schématiquement à la figure 2-3, parce qu'elle empêche réellement le mélange entre les masses d'eau froide et chaude [18]. La barrière thermique correspond, dans la configuration des températures de surface, à une bande d'isothermes rapprochés, côté rive de l'isotherme de 4 degrés. A mesure qu'avance la saison, cette barrière se déplace vers les eaux plus profondes, avançant plus rapidement là où la topographie du front est plane et ralentissant en bordure des plateaux abrupts [19].

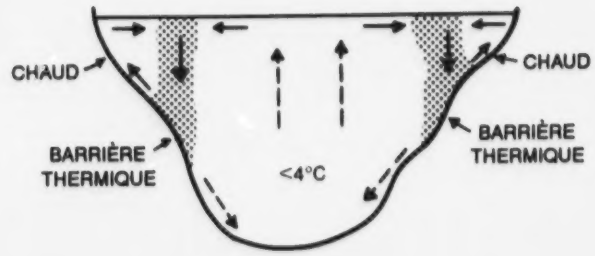


FIGURE 2-3
Structure de la "barrière thermique"

Eventually, the surface 4-degree isotherm contracts into the deepest part of the lake and disappears. At this point spring overturn is complete. The thermal bar now becomes the thermocline: a zone of strong temperature gradient that lies at some depth below the surface. The thermocline is located closer to the surface in the mid-lake region and slopes toward the bottom nearer to the shore. The thermocline caps a mass of dense water that remains at or near the 4-degree temperature. The progression to summer stratification is illustrated by Figure 2-4, from Rodgers [20].

Some notable features persist in the surface temperature and variability patterns during the spring overturn period. A strong closed-isotherm, depth-related surface temperature gradient develops shoreward from the 4-degree isotherm, in sharp contrast to the very flat gradient in the central regions of the lake. The surface temperature gradient in the near-shore zone builds up because density stratification inhibits downward transport of heat and consequently, much of the incoming solar energy is trapped in the surface layer. In the cold unstratified central region of the lake, the incoming energy is easily admixed downward by convection, precluding a rapid temperature rise at the surface.

Analogous differences appear in the surface temperature variability pattern. Variability is greater in the warm near-shore zone than in the central cold region. The increased surface temperature variability in the near-shore zone is similarly caused by stratification. Due to the reduction in convective heat transport, daytime heating and nocturnal cooling are confined largely to the topmost portion of the stratified layer. This increases the diurnal range of the surface temperature. Moreover, the surface temperature of the stratified layer is prone to large and rapid variations in response to changes in wind conditions. Wind-induced turbulent mixing can destroy stratification in the relatively thin warm surface layer, causing a large and rapid fall in surface temperature. With the return of calmer conditions, daytime solar heating re-establishes stratification and the surface temperature is again elevated through concentration of incoming energy in the surface layer.

L'isotherme superficiel de 4 degrés finit par n'occuper que la portion la plus profonde du lac, puis par disparaître. C'est alors que le renversement printanier est complet. La barrière thermique se confond alors avec la thermocline : zone située à une certaine profondeur où le gradient de température est marqué. La thermocline est plus proche de la surface dans le milieu du lac et plus près de la barrière à proximité du rivage. La thermocline recouvre une masse d'eau dense dont la température reste voisine de 4 degrés. La progression vers la stratification estivale est illustrée à la figure 2-4, tirée de Rodgers [20].

Certaines caractéristiques notables des configurations des températures de surface et de la variabilité persistent au cours de la période de renversement printanier. Un gradient des températures de surface, lié à la profondeur et qui prend la forme d'un isotherme fermé marqué, se développe côté rive de l'isotherme de 4 degrés, et constitue un véritable contraste par rapport au gradient très plat des régions centrales du lac. Le gradient thermique (surface) dans la zone littorale s'amplifie parce que la stratification de densité empêche le transport de chaleur vers le bas; la majeure partie de l'énergie solaire descendante demeure donc dans la couche superficielle. Dans la portion centrale non stratifiée et froide du lac, l'énergie descendante descend facilement sous l'effet de la convection, ce qui exclut une augmentation rapide des températures en surface.

Des différences analogues s'observent dans la configuration de la variabilité des températures de surface. Ainsi, la variabilité est supérieure dans la zone littorale, plus chaude, que dans la région centrale, plus froide. La plus grande variabilité dans la zone littorale est de même due à la stratification. Vu la diminution du transport convectif de chaleur, le réchauffement diurne et le refroidissement nocturne sont confinés essentiellement à la portion supérieure de la couche stratifiée. Cela fait augmenter la fourchette diurne des températures de surface. En outre, la température de la surface de la couche stratifiée est sujette à d'importantes et rapides variations en réponse aux changements des caractéristiques du vent. Ainsi, le brassage turbulent engendré par le vent peut détruire la stratification d'une couche superficielle chaude relativement mince, entraînant une baisse rapide et importante des températures de surface. Avec le retour de conditions plus calmes, la stratification se rétablit de nouveau sous l'effet du réchauffement solaire diurne et la température de surface augmente sous l'effet de la concentration de l'énergie descendante dans la couche superficielle.

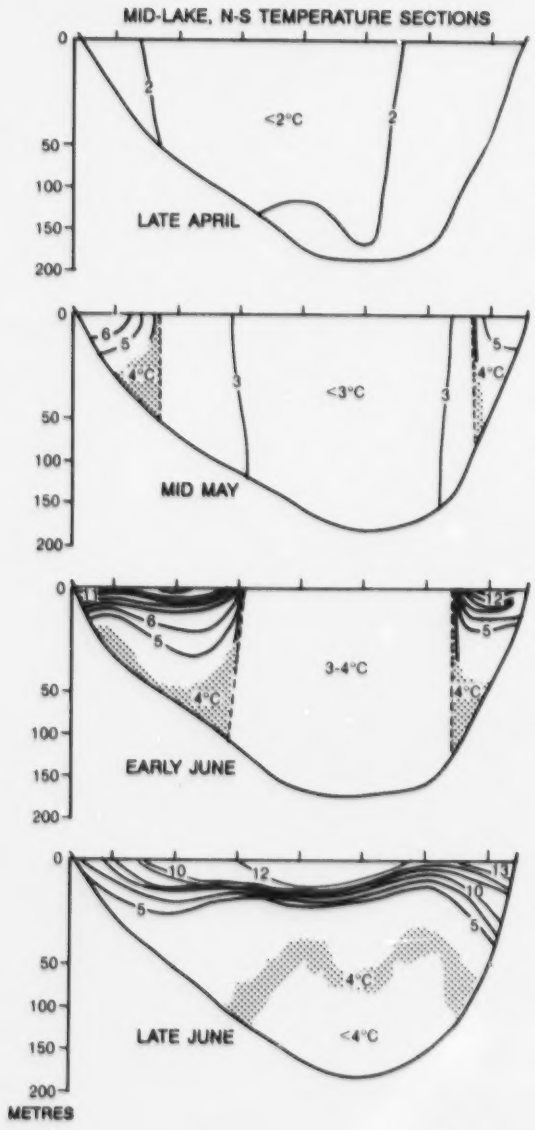


FIGURE 2-4 Formation of summer stratification

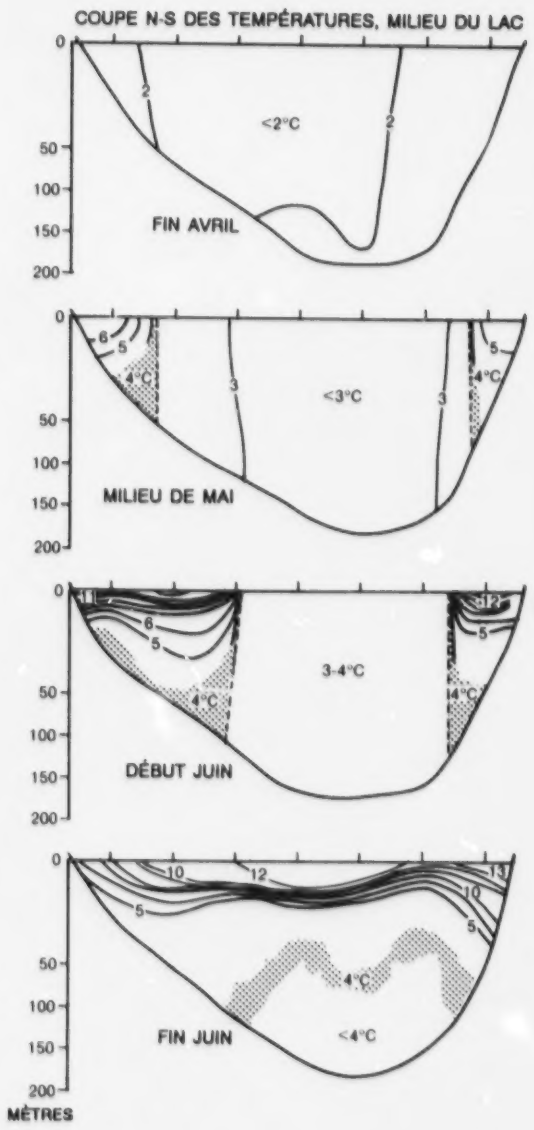


FIGURE 2-4 Formation de la stratification estivale

2.3.3 *Summer Stratification*

The thermal structure of the summer density-stratified water mass is defined by three features (see Figure 2-1): the warm and nearly isothermal surface layer - the epilimnion; a region of rapid temperature decrease with depth - the thermocline; and the cold and dense deep water mass which remains at or near a temperature of 4 degrees - the hypolimnion.

Lake-wide summer stratification is usually established in Lake Erie by mid-May, followed by Lake Ontario at the end of May, Lake Huron/Georgian Bay in mid-June and Lake Superior by the end of June. During the early stages of summer stratification, the surface temperature pattern bears a resemblance to the bathymetry of the lake, due to the slower temperature rise in deeper water. Surface temperature variability is greater in the deeper regions, where the developing and as yet thin epilimnion is more sensitive to day-to-day changes in incoming radiation (i.e., cloudiness) and wind-induced mixing in the surface layer.

Other factors begin to affect the temperature and variability patterns as well. As the epilimnion continues to absorb heat, the vertical temperature and density gradients intensify in the thermocline region. Both convective and turbulent mixing are now increasingly confined to the topmost layer, and wind stress on the lake surface is translated into horizontal transport of surface water downwind. Sub-surface currents, opposite to the wind direction, are set up within the water mass to compensate for the downwind displacement of surface water. Furthermore, the currents are subjected to earth's rotational (Coriolis) and gravitational forces, and they are deflected by the bottom and sides of the lake basin. The different forces acting on the water mass can produce complex circulation patterns [21].

The presence of surface currents and eddies is often detectable in the synoptic surface water temperature patterns. The smaller scale transitory surface circulation changes with weather conditions and has little impact on the spatial distribution of the climatological surface water temperature field. However, major alterations of the thermal structure, caused by the predominantly westerly wind regime over the Great Lakes region, do have marked effects on the surface temperature climatology.

2.3.3 *Stratification estivale*

La structure thermique de la masse d'eau à stratification de densité estivale est définie par trois caractéristiques (voir la figure 2-1) : l'épilimnion ou couche superficielle chaude et quasi- isotherme; la thermocline ou région de diminution rapide des températures en fonction de la profondeur et l'hypolimnion, ou masse d'eau profonde, froide et dense dont la température reste voisine de 4 degrés.

La stratification estivale est généralement établie dans tout le lac Érié à la mi-mai, dans le lac Ontario à la fin de mai, dans le lac Huron et la baie Georgienne à la mi-juin et dans le lac Supérieur à la fin de juin. Au cours des premiers stades de la stratification estivale, la configuration des températures de surface présente une ressemblance avec la bathymétrie du lac, vu l'augmentation plus lente des températures en eau plus profonde. La variabilité des températures de surface est plus grande dans les régions plus profondes où l'hypolimnion en formation, donc encore mince, est plus sensible aux variations quotidiennes du rayonnement descendant (c.-à-d., de la nébulosité) et au brassage provoqué par le vent dans la couche superficielle.

D'autres facteurs commencent aussi à avoir un effet sur la configuration des températures et de la variabilité. Tandis que l'épilimnion continue à absorber de la chaleur, les gradients verticaux de température et de densité s'intensifient dans la région de la thermocline. Le brassage dû à la convection et le brassage par turbulence sont maintenant de plus en plus confinés à la couche supérieure et le stress engendré par le vent à la surface du lac se traduit par un déplacement horizontal dans le sens du vent des eaux de surface. Il se crée dans la masse d'eau des courants superficiels, de force opposée à la direction du vent, afin de compenser pour le déplacement dans le sens du vent de l'eau de surface. De plus, les courants sont soumis aux forces de gravité et de rotation (Coriolis) de la terre et dévient donc vers le fond et les côtés du bassin. Les diverses forces qui agissent sur une masse d'eau peuvent produire des configurations complexes de circulation [21].

La présence de tourbillons et de courants de surface se détecte souvent dans les configurations synoptiques des températures des eaux de surface. La circulation superficielle temporaire de petite échelle varie en fonction des conditions météorologiques et a peu d'impact sur la distribution spatiale du champ climatologique de température des eaux de surface. D'importantes modifications de la structure thermique, causées par le régime de vent à prédominance d'ouest au-dessus de la région des Grands Lacs, ont cependant des effets marqués sur les caractéristiques climatologiques des températures des eaux de surface.

Because of the Ekman effect (see Hutchinson [14]), westerly winds displace surface water southeastward. The warm surface water is piled up on the downwind shore and colder sub-surface water is exposed along the upwind shore. It is not uncommon for moderate-to-strong westerly winds to persist over the Great Lakes region for several days, causing a significant tilt in the epilimnion and exposure of the very cold waters of the thermocline along the upwind shore. This wind set-up, known as "upwelling", is particularly noticeable in the summer and fall. It manifests itself as a zone of very steep surface temperature gradient along the western and northern shores of a lake. A shift in wind direction, or a decrease in the westerly wind speed, terminates the upwelling episode which is followed by a period of return flow of surface water in a northerly and westerly direction. In the summer and fall, the return flow is indicated in the temperature field as a tongue of warm water protruding northward along the east shore and westward along the north shore of a lake.

Due to the frequent westerly wind episodes over the region, the surface water temperature fluctuates greatly in the upwelling-prone zones of the Great Lakes in the summer and fall months. The upwelling zones are indicated in the climatological water temperature field by patterns of tightly-packed isotherms and associated large temperature variabilities.

Downward admixture of heat by turbulent mixing and by agitation of the thermocline during upwelling events thickens the epilimnion layer and makes it more uniform in temperature. As the season advances toward the period of peak temperatures in August and early September, the relationship of the surface temperature pattern to depth becomes less discernible, due to the lessening of temperature gradients in the progressively thicker and more uniformly mixed epilimnion. Eventually, the structure of the surface temperature field in the lower Great Lakes changes to gradual north-to-south and northwest-to-southeast gradients, shaped largely by wind-induced water movements. Due to a shorter heating season and greater depth, Lake Superior develops a thinner epilimnion; consequently, its surface temperature pattern retains a relationship to depth throughout the summer months.

2.3.4 *Fall Overturn*

In the Great Lakes, surface water temperatures begin to fall in September, when radiative and evaporative cooling begin to exceed daytime

A cause de l'effet d'Ekman (voir Hutchinson [14]), les vents d'ouest entraînent les eaux de surface vers le sud-est. Les eaux de surface chaudes se concentrent sur la rive abritée et de l'eau plus froide remonte le long de la rive face au vent. Il n'est pas rare que des vents d'ouest modérés à forts persistent dans la région des Grands Lacs durant plusieurs jours, entraînant ainsi une inclinaison marquée de l'épilimnion et l'apparition en surface d'eau très froide provenant de la thermocline le long de la rive exposée au vent. Ces montées de niveau dues au vent, dites "remontées d'eau" se remarquent particulièrement à l'été et à l'automne. Ces montées prennent la forme d'une zone où le gradient de température de surface est très abrupt le long des rives ouest et nord dans le lac. Dès que change la direction du vent ou que diminue la vitesse du vent d'ouest, l'épisode de remontée se termine et est suivi d'une période d'écoulement superficiel de retour vers le nord et l'ouest. En été et en automne, l'écoulement de retour apparaît, dans le champ thermique, sous forme d'une langue d'eau chaude qui s'avance vers le nord le long de la rive est et vers l'ouest le long de la rive nord.

En été et en automne, vu la fréquence des épisodes de vents d'ouest au-dessus de la région, les températures des eaux de surface fluctuent grandement dans les zones à potentiel de remontée des Grands Lacs. Ces zones de remontée sont indiquées dans les champs thermiques climatologiques par des configurations d'isothermes rapprochés et d'importantes variabilités de température associées à ces isothermes.

L'ajout de chaleur par brassage turbulent et par agitation de la thermocline pendant les épisodes de remontée d'eau agit sur l'épilimnion : épaississement et températures plus uniformes. A mesure qu'avance la saison et qu'on approche des températures maximales d'août et du début septembre, le rapport entre la configuration des températures de surface et la profondeur devient moins perceptible à cause d'un affaiblissement des gradients de température dans l'épilimnion, de plus en plus épais et de mieux en mieux mélangé. La structure du champ thermique des Grands Lacs, à l'exception du lac Supérieur, adopte finalement de façon graduelle des gradients nord-sud et nord-ouest - sud-est, essentiellement sous l'effet du vent. Dans le lac Supérieur, parce que la saison chaude est plus courte et la profondeur plus importante, l'épilimnion reste mince et la configuration des températures de surface demeure fonction de la profondeur durant tout l'été.

2.3.4 *Renversement automnal*

Dans les Grands Lacs, les températures de surface commencent à diminuer en septembre lorsque le refroidissement par évaporation et

solar heating. At first, cooling is noticeable only in the shallowest and warmest near-shore waters.

Surface cooling creates unstable density conditions in the surface layer of water. The cooled, relatively denser water sinks and mixes with the water below. As cooling intensifies, convective mixing penetrates to greater depths, breaking down density stratification. This in turn facilitates wind-induced turbulent mixing to reach greater depths. The epilimnion grows thicker and approaches the isothermal state during the overturn process. Eventually, mixing reaches deep enough to destroy the thermocline and it is assimilated into the epilimnion.

After the thermocline is destroyed, mixing penetrates into the hypolimnion. Continuation of the cooling and mixing process ultimately produces a nearly isothermal water mass to depth. At this stage the water mass is at a temperature of about 8 degrees.

In the Great Lakes, the rapid cooling, mixing to depth and destruction of the thermocline begin in October, when the first surges of cold Arctic air, advected by strong northwest winds, sweep across the region. The northwesterly wind impulses produce upwelling episodes which speed up the destruction of the thermocline. The upwelling effect is visible in the climatological temperature and variability patterns, particularly in Lake Ontario.

The Great Lakes water masses reach the well-mixed, near-isothermal state by mid-November. Surface temperature gradients are small and variability also decreases in the well-mixed water mass and loses the organized pattern associated with upwelling.

A closed-isotherm, depth-related surface temperature pattern emerges in the fall, because the heat storage capacity is smaller and cooling more rapid in the shallow near-shore water than in the deep water. The cooling rate in shallow water is also affected more by the changing weather conditions than the rate in deep water, because of the smaller heat storage capacity of the former. Therefore, temperature variability is greater in the near-shore zone and the variability field also tends toward a closed isopleth pattern.

The annual temperature cycle is completed when the temperature of the shallow waters falls to 4 degrees; further cooling brings on the formation of winter stratification which progresses from the near-shore zone toward mid-lake.

rayonnement commence à être supérieur au réchauffement solaire diurne. Au début, le refroidissement ne se constate que dans les eaux littorales plus chaudes et moins profondes.

Le refroidissement superficiel entraîne la formation de conditions de densité instables dans la couche superficielle. L'eau refroidie, relativement plus dense, s'enfonce et se mélange à l'eau située dessous. A mesure que s'intensifie le refroidissement, le brassage dû à la convection s'étend de plus en plus profondément, brisant ainsi la stratification de densité. Le brassage par turbulence engendré par le vent touche alors des profondeurs plus importantes. L'épilimnion s'épaissit et approche de l'état isotherme au cours du renversement. Le brassage finit par toucher les couches profondes et détruire la thermocline qui s'assimile dans l'épilimnion.

Lorsque la thermocline est détruite, le processus de brassage s'exerce aussi dans l'hypolimnion. Le processus de refroidissement et de mélange finit par produire une masse d'eau presque isotherme jusqu'au fond. A cette étape, la masse d'eau a atteint une température d'environ 8 degrés.

Dans les Grands Lacs, le refroidissement rapide, le brassage qui s'exerce jusqu'au fond et la destruction de la thermocline débutent en octobre lorsque les premières bouffées d'air froid arctique, amenées par advection par les puissants vents du nord-ouest balaient la région. Sous l'effet des vents du nord-ouest se produisent des épisodes de remontée d'eau qui accélèrent la destruction de la thermocline. L'effet de remontée d'eau se reflète dans les configurations climatologiques de température et de variabilité, notamment pour le lac Ontario.

Les masses d'eau des Grands Lacs deviennent quasi-isothermes et bien mélangées vers la mi-novembre. Les gradients de température de surface sont faibles et la variabilité diminue aussi dans la masse d'eau bien mélangée et perd la structure caractéristique des remontées.

En automne apparaît une configuration liée à la profondeur sous forme d'un isotherme fermé, parce que la capacité d'emmagasinement de la chaleur est faible et le refroidissement plus rapide dans les eaux littorales peu profondes. Le taux de refroidissement en eau peu profonde est aussi plus marqué par les variations des conditions météorologiques, à cause de la plus petite capacité de stockage de chaleur. La variabilité des températures est donc plus importante dans la zone littorale et le champ de variabilité a tendance à adopter une configuration en isoplètes fermés.

Le cycle annuel des températures est complet lorsque la température des eaux peu profondes baisse à 4 degrés; le refroidissement ultérieur entraîne la formation d'une stratification hivernale qui progresse de la zone littorale vers le milieu du lac.

This concludes a general description of the Great Lakes water temperature regime. More specific and detailed discussion of the temperature regimes of the individual lakes are found in the sections that follow.

Nous concluons ici la description générale du régime des températures des eaux des Grands Lacs. Les sections qui suivent portent de façon plus précise et détaillée sur les régimes thermiques de chacun des lacs.

SECTION 3

LAKE ERIE WATER TEMPERATURE REGIME

RÉGIME DES TEMPÉRATURES DE L'EAU DU LAC ÉRIÉ

3.1 Lake Erie Annual Temperature Cycle

The Lake Erie annual temperature cycle is defined in Table 3-1 and Figure 3-1.

The normal annual surface water temperature range in Lake Erie is from -0.4 (i.e., the lake is almost completely ice-covered) to 23.3 degrees. Normally, Lake Erie has some ice cover during most of February. Thus, the February monthly mean surface temperature is negative, at -0.1 degrees. The maximum monthly mean temperature of 22.9 degrees occurs in August.

Sufficient ice cover to lower the lake-wide surface temperature to below 0 degrees occurs from the last week of January to the third week of February. In mild winters, the minimum temperature remains in the 0.1 to 0.7 degree range; in cold winters significant ice cover develops early in January and persists to the second half of March. A perceptible rise in the water temperature curve at the end of January correlates with the time of the traditional "January thaw".

The normal maximum temperature occurs in mid-August. The range of summer maximum temperature is from 21.6 to 25.0 degrees.

The largest variability in daily temperature can occur in June (standard deviation of 1.9 degrees), the smallest in February (standard deviation of 0.3 to 0.4 degrees).

3.2 Lake Erie Surface Water Temperature Structure

Lake Erie surface water temperature and temperature variability are discussed with reference to Maps 3-1 to 3-26. Lake Erie grid point locations are shown on Map 3-1, lake depth on Map 3-2. Maps 3-3 to 3-26 show the beginning-of-month and middle-of-month surface water temperature and temperature variability structure. Brief remarks on the major structural features of the surface temperature and variability field of each map are given below.

3.1 Cycle annuel des températures du lac Érié

Le cycle annuel des températures du lac Érié est défini au tableau 3-1 et à la figure 3-1.

La gamme normale annuelle des températures des eaux de surface dans le lac Érié va de -0,4 (c.-à-d., le lac est presque complètement couvert de glace) à 23,3 degrés. Normalement, le lac Érié est recouvert par endroits de glace durant la majeure partie de février. La température moyenne de surface pour février est donc négative (-0,1 degré). La température moyenne mensuelle maximale se produit en août (22,9 degrés).

Une couverture de glace suffisante pour abaisser la température de surface de tout le lac à moins de 0 degré s'observe de la dernière semaine de janvier à la troisième semaine de février. Lorsque les hivers sont moins rigoureux, la température minimale demeure entre 0,1 et 0,7 degré; au cours des hivers très froids, un important couvert de glace apparaît tôt en janvier et persiste jusqu'à la deuxième moitié du mois de mars. Une augmentation perceptible de la courbe des températures de l'eau à la fin de janvier correspond au "gel de janvier" habituel.

La température normale maximale se produit à la mi-août. En été, les températures maximales varient de 21,6 à 25,0 degrés.

La plus importante variabilité des températures quotidiennes peut s'observer en juin (écart type de 1,9 degré), et la plus faible en février (écart type de 0,3 à 0,4 degré).

3.2 Structure des températures des eaux de surface du lac Érié

On traitera ici des températures des eaux de surface du lac Érié et de la variabilité des températures; il convient de se reporter aux cartes 3-1 à 3-26. Les emplacements des points de grille sont illustrés à la carte 3-1; les profondeurs du lac sont représentées à la carte 3-2. Les cartes 3-3 à 3-26 illustrent la structure des températures de surface et de la variabilité de ces températures au début et au milieu de chaque mois. De brèves remarques sur les principales caractéristiques de la structure des champs de température et de variabilité illustrée sur chacune des cartes sont présentées ci-dessous.

TABLE 3-1
Lake Erie Daily Mean Surface Water Temperature (Deg. C)

Day	Jan		Feb		Mar		Apr		May		Jun		Jul		Aug		Sep		Oct		Nov		Dec		Day
	T[1]	SD[2]	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	
1	2.2	1.2	0.1	0.6	0.2	0.7	1.8	0.9	6.3	1.4	13.8	1.8	19.7	1.7	22.9	1.5	21.7	1.5	17.6	1.2	12.1	1.4	6.6	1.5	1
2	2.1	1.2	0.0	0.6	0.2	0.7	1.9	0.9	6.5	1.4	14.0	1.8	19.9	1.7	22.9	1.6	21.6	1.5	17.5	1.2	12.0	1.4	6.4	1.5	2
3	2.0	1.2	-0.1	0.5	0.2	0.7	2.0	1.0	6.6	1.4	14.2	1.8	20.1	1.7	23.0	1.6	21.4	1.5	17.3	1.1	11.8	1.4	6.2	1.5	3
4	1.8	1.2	-0.2	0.4	0.2	0.7	2.1	1.1	6.8	1.3	14.5	1.7	20.3	1.7	23.1	1.6	21.3	1.5	17.1	1.1	11.6	1.4	6.0	1.5	4
5	1.7	1.2	-0.3	0.4	0.3	0.7	2.3	1.1	7.0	1.3	14.7	1.7	20.5	1.7	23.1	1.6	21.1	1.5	16.9	1.1	11.5	1.5	5.8	1.5	5
6	1.6	1.3	-0.3	0.4	0.3	0.7	2.4	1.2	7.2	1.3	14.9	1.7	20.6	1.7	23.2	1.6	21.0	1.5	16.7	1.1	11.3	1.5	5.7	1.5	6
7	1.5	1.3	-0.4	0.3	0.3	0.7	2.5	1.3	7.5	1.3	15.1	1.7	20.7	1.7	23.2	1.6	20.9	1.5	16.5	1.1	11.1	1.5	5.5	1.5	7
8	1.4	1.3	-0.3	0.3	0.3	0.7	2.7	1.3	7.7	1.2	15.3	1.7	20.9	1.7	23.3	1.6	20.7	1.5	16.4	1.1	10.9	1.5	5.4	1.5	8
9	1.3	1.3	-0.3	0.4	0.4	0.7	2.8	1.3	7.9	1.2	15.6	1.8	21.0	1.7	23.3	1.6	20.6	1.5	16.2	1.1	10.7	1.5	5.2	1.5	9
10	1.2	1.3	-0.3	0.4	0.4	0.7	2.9	1.3	8.2	1.2	15.8	1.8	21.1	1.6	23.3	1.6	20.5	1.5	16.0	1.2	10.5	1.4	5.1	1.5	10
11	1.1	1.3	-0.3	0.4	0.4	0.8	3.1	1.4	8.4	1.2	16.0	1.8	21.2	1.6	23.3	1.6	20.5	1.5	15.9	1.2	10.3	1.4	4.9	1.5	11
12	1.0	1.3	-0.2	0.4	0.4	0.8	3.2	1.4	8.7	1.1	16.3	1.8	21.3	1.6	23.3	1.6	20.3	1.5	15.7	1.2	10.1	1.4	4.8	1.5	12
13	0.9	1.2	-0.2	0.4	0.5	0.8	3.3	1.4	8.9	1.1	16.5	1.8	21.4	1.6	23.3	1.7	20.2	1.4	15.5	1.3	9.9	1.4	4.6	1.5	13
14	0.8	1.2	-0.2	0.4	0.5	0.8	3.5	1.4	9.2	1.1	16.7	1.8	21.5	1.6	23.3	1.7	20.1	1.4	15.2	1.3	9.7	1.4	4.5	1.5	14
15	0.7	1.2	-0.2	0.4	0.6	0.8	3.6	1.4	9.5	1.2	17.0	1.8	21.6	1.5	23.3	1.7	20.0	1.4	15.0	1.3	9.5	1.4	4.3	1.5	15
16	0.6	1.2	-0.1	0.4	0.6	0.9	3.7	1.4	9.7	1.2	17.1	1.9	21.7	1.5	23.3	1.7	19.9	1.3	14.7	1.3	9.4	1.3	4.2	1.5	16
17	0.5	1.1	-0.1	0.4	0.7	0.9	3.9	1.4	10.0	1.3	17.3	1.9	21.8	1.5	23.2	1.7	19.9	1.3	14.5	1.3	9.2	1.3	4.1	1.5	17
18	0.4	1.1	-0.1	0.4	0.7	0.9	4.0	1.4	10.3	1.4	17.4	1.9	21.9	1.5	23.2	1.7	19.8	1.3	14.3	1.3	9.1	1.2	4.0	1.6	18
19	0.3	1.0	-0.1	0.5	0.8	0.9	4.2	1.4	10.5	1.4	17.6	1.9	22.0	1.4	23.1	1.7	19.7	1.3	14.2	1.3	8.9	1.2	3.9	1.6	19
20	0.2	1.0	-0.1	0.5	0.9	0.9	4.3	1.4	10.8	1.5	17.7	1.9	22.1	1.4	23.0	1.7	19.5	1.4	14.0	1.3	8.7	1.2	3.8	1.6	20
21	0.2	0.9	-0.1	0.5	1.0	0.9	4.5	1.4	11.0	1.6	17.9	1.9	22.2	1.4	22.9	1.7	19.4	1.4	13.9	1.3	8.5	1.2	3.6	1.5	21
22	0.1	0.8	-0.1	0.5	1.0	0.9	4.6	1.3	11.3	1.6	18.1	1.9	22.3	1.4	22.7	1.7	19.2	1.4	13.8	1.3	8.3	1.3	3.5	1.4	22
23	0.0	0.8	-0.1	0.5	1.1	0.9	4.8	1.3	11.5	1.6	18.3	1.9	22.4	1.4	22.7	1.7	19.1	1.4	13.6	1.3	8.1	1.4	3.3	1.4	23
24	0.0	0.8	0.0	0.5	1.2	1.0	5.0	1.3	11.8	1.7	18.5	1.9	22.5	1.4	22.6	1.6	18.9	1.4	13.5	1.3	7.9	1.4	3.2	1.3	24
25	-0.1	0.7	0.0	0.6	1.2	1.0	5.1	1.4	12.0	1.7	18.7	1.9	22.6	1.4	22.5	1.6	18.8	1.4	13.4	1.3	7.7	1.5	3.0	1.2	25
26	-0.1	0.7	0.1	0.6	1.3	1.0	5.3	1.4	12.2	1.7	18.9	1.8	22.6	1.4	22.5	1.6	18.6	1.4	13.2	1.3	7.5	1.5	2.9	1.2	26
27	-0.1	0.7	0.1	0.6	1.4	0.9	5.5	1.4	12.5	1.7	19.1	1.8	22.6	1.4	22.4	1.6	18.5	1.3	13.1	1.3	7.3	1.5	2.8	1.2	27
28	-0.1	0.7	0.1	0.7	1.4	0.9	5.7	1.4	12.7	1.7	19.3	1.8	22.6	1.4	22.3	1.5	18.2	1.3	12.9	1.3	7.2	1.5	2.7	1.2	28
29	-0.1	0.7			1.5	0.9	5.9	1.4	12.9	1.8	19.4	1.7	22.7	1.5	22.1	1.5	18.0	1.3	12.8	1.4	7.0	1.5	2.5	1.2	29
30	0.0	0.7			1.6	0.9	6.1	1.4	13.2	1.8	19.5	1.7	22.8	1.5	22.0	1.5	17.8	1.2	12.6	1.4	6.9	1.5	2.4	1.2	30
31	0.0	0.6			1.7	0.9			13.5	1.8			22.8	1.5	21.9	1.5			12.3	1.4			2.3	1.2	31
Mean	0.7	1.0	-0.1	0.5	0.8	0.8	3.8	1.3	9.8	1.4	16.8	1.8	21.6	1.5	22.9	1.6	19.9	1.4	14.9	1.2	9.5	1.4	4.3	1.4	

[1] = mean temperature (Deg. C)
[2] = standard deviation of mean temperature (Deg. C)

TABLEAU 3-1
Températures quotidiennes moyennes des eaux de surface du lac Érié (degrés C)

jour	janv. T[1]	janv. ÉT[2]	fév. T	fév. ÉT	mars T	mars ÉT	avr. T	avr. ÉT	mai T	mai ÉT	juin T	juin ÉT	juil. T	juil. ÉT	août T	août ÉT	sept. T	sept. ÉT	oct. T	oct. ÉT	nov. T	nov. ÉT	déc. T	déc. ÉT	jour
1	2,2	1,2	0,1	0,6	0,2	0,7	1,8	0,9	6,3	1,4	13,8	1,8	19,7	1,7	22,9	1,5	21,7	1,5	17,6	1,2	12,1	1,4	6,6	1,5	1
2	2,1	1,2	0,0	0,6	0,2	0,7	1,9	0,9	6,5	1,4	14,0	1,8	19,9	1,7	22,9	1,6	21,6	1,5	17,5	1,2	12,0	1,4	6,4	1,5	2
3	2,0	1,2	-0,1	0,5	0,2	0,7	2,0	1,0	6,6	1,4	14,2	1,8	20,1	1,7	23,0	1,6	21,4	1,5	17,3	1,1	11,8	1,4	6,2	1,5	3
4	1,8	1,2	-0,2	0,4	0,2	0,7	2,1	1,1	6,8	1,3	14,5	1,7	20,3	1,7	23,1	1,6	21,3	1,5	17,1	1,1	11,6	1,4	6,0	1,5	4
5	1,7	1,2	-0,3	0,4	0,3	0,7	2,3	1,1	7,0	1,3	14,7	1,7	20,5	1,7	23,1	1,6	21,1	1,5	16,9	1,1	11,5	1,5	5,8	1,5	5
6	1,6	1,3	-0,3	0,4	0,3	0,7	2,4	1,2	7,2	1,3	14,9	1,7	20,6	1,7	23,2	1,6	21,0	1,5	16,7	1,1	11,3	1,5	5,7	1,5	6
7	1,5	1,3	-0,4	0,3	0,3	0,7	2,5	1,3	7,5	1,3	15,1	1,7	20,7	1,7	23,2	1,6	20,9	1,5	16,5	1,1	11,1	1,5	5,5	1,5	7
8	1,4	1,3	-0,3	0,3	0,3	0,7	2,7	1,3	7,7	1,2	15,3	1,7	20,9	1,7	23,3	1,6	20,7	1,5	16,4	1,1	10,9	1,5	5,4	1,5	8
9	1,3	1,3	-0,3	0,4	0,4	0,7	2,8	1,3	7,9	1,2	15,6	1,8	21,0	1,7	23,3	1,6	20,6	1,5	16,2	1,1	10,7	1,5	5,2	1,5	9
10	1,2	1,3	-0,3	0,4	0,4	0,7	2,9	1,3	8,2	1,2	15,8	1,8	21,1	1,6	23,3	1,6	20,5	1,5	16,0	1,2	10,5	1,4	5,1	1,5	10
11	1,1	1,3	-0,3	0,4	0,4	0,8	3,1	1,4	8,4	1,2	16,0	1,8	21,2	1,6	23,3	1,6	20,5	1,5	15,9	1,2	10,3	1,4	4,9	1,5	11
12	1,0	1,3	-0,2	0,4	0,4	0,8	3,2	1,4	8,7	1,1	16,3	1,8	21,3	1,6	23,3	1,6	20,3	1,5	15,7	1,2	10,1	1,4	4,8	1,5	12
13	0,9	1,2	-0,2	0,4	0,5	0,8	3,3	1,4	8,9	1,1	16,5	1,8	21,4	1,6	23,3	1,7	20,2	1,4	15,5	1,3	9,9	1,4	4,6	1,5	13
14	0,8	1,2	-0,2	0,4	0,5	0,8	3,5	1,4	9,2	1,1	16,7	1,8	21,5	1,6	23,3	1,7	20,1	1,4	15,2	1,3	9,7	1,4	4,5	1,5	14
15	0,7	1,2	-0,2	0,4	0,6	0,8	3,6	1,4	9,5	1,2	17,0	1,8	21,6	1,5	23,3	1,7	20,0	1,4	15,0	1,3	9,5	1,4	4,3	1,5	15
16	0,6	1,2	-0,1	0,4	0,6	0,9	3,7	1,4	9,7	1,2	17,1	1,9	21,7	1,5	23,3	1,7	19,9	1,3	14,7	1,3	9,4	1,3	4,2	1,5	16
17	0,5	1,1	-0,1	0,4	0,7	0,9	3,9	1,4	10,0	1,3	17,3	1,9	21,8	1,5	23,2	1,7	19,9	1,3	14,5	1,3	9,2	1,3	4,1	1,5	17
18	0,4	1,1	-0,1	0,4	0,7	0,9	4,0	1,4	10,3	1,4	17,4	1,9	21,9	1,5	23,2	1,7	19,8	1,3	14,3	1,3	9,1	1,2	4,0	1,6	18
19	0,3	1,0	-0,1	0,5	0,8	0,9	4,2	1,4	10,5	1,4	17,6	1,9	22,0	1,4	23,1	1,7	19,7	1,3	14,2	1,3	8,9	1,2	3,9	1,6	19
20	0,2	1,0	-0,1	0,5	0,9	0,9	4,3	1,4	10,8	1,5	17,7	1,9	22,1	1,4	23,0	1,7	19,5	1,4	14,0	1,3	8,7	1,2	3,8	1,6	20
21	0,2	0,9	-0,1	0,5	1,0	0,9	4,5	1,4	11,0	1,6	17,9	1,9	22,2	1,4	22,9	1,7	19,4	1,4	13,9	1,3	8,5	1,2	3,6	1,5	21
12	0,1	0,8	-0,1	0,5	1,0	0,9	4,6	1,3	11,3	1,6	18,1	1,9	22,3	1,4	22,7	1,7	19,2	1,4	13,8	1,3	8,3	1,3	3,5	1,4	22
23	0,0	0,8	-0,1	0,5	1,1	0,9	4,8	1,3	11,5	1,6	18,3	1,9	22,4	1,4	22,7	1,7	19,1	1,4	13,6	1,3	8,1	1,4	3,3	1,4	23
24	0,0	0,8	0,0	0,5	1,2	1,0	5,0	1,3	11,8	1,7	18,5	1,9	22,5	1,4	22,6	1,6	18,9	1,4	13,5	1,3	7,9	1,4	3,2	1,3	24
25	-0,1	0,7	0,0	0,6	1,2	1,0	5,1	1,4	12,0	1,7	18,7	1,9	22,6	1,4	22,5	1,6	18,8	1,4	13,4	1,3	7,7	1,5	3,0	1,2	25
26	-0,1	0,7	0,1	0,6	1,3	1,0	5,3	1,4	12,2	1,7	18,9	1,8	22,6	1,4	22,5	1,6	18,6	1,4	13,2	1,3	7,5	1,5	2,9	1,2	26
27	-0,1	0,7	0,1	0,6	1,4	0,9	5,5	1,4	12,5	1,7	19,1	1,8	22,6	1,4	22,4	1,6	18,5	1,3	13,1	1,3	7,3	1,5	2,8	1,2	27
28	-0,1	0,7	0,1	0,7	1,4	0,9	5,7	1,4	12,7	1,7	19,3	1,8	22,6	1,4	22,3	1,5	18,2	1,3	12,9	1,3	7,2	1,5	2,7	1,2	28
29	-0,1	0,7			1,5	0,9	5,9	1,4	12,9	1,8	19,4	1,7	22,7	1,5	22,1	1,5	18,0	1,3	12,8	1,4	7,0	1,5	2,5	1,2	29
30	0,0	0,7			1,6	0,9	6,1	1,4	13,2	1,8	19,5	1,7	22,8	1,5	22,0	1,5	17,8	1,2	12,6	1,4	6,9	1,5	2,4	1,2	30
31	0,0	0,6			1,7	0,9			13,5	1,8			22,8	1,5	21,9	1,5			12,3	1,4			2,3	1,2	31
moyenne	0,7	1,0	-0,1	0,5	0,8	0,8	3,8	1,3	9,8	1,4	16,8	1,8	21,6	1,5	22,9	1,6	19,9	1,4	14,9	1,2	9,5	1,4	4,3	1,4	

[1] = température moyenne (degré C)
[2] = écart type moyen (degré C)

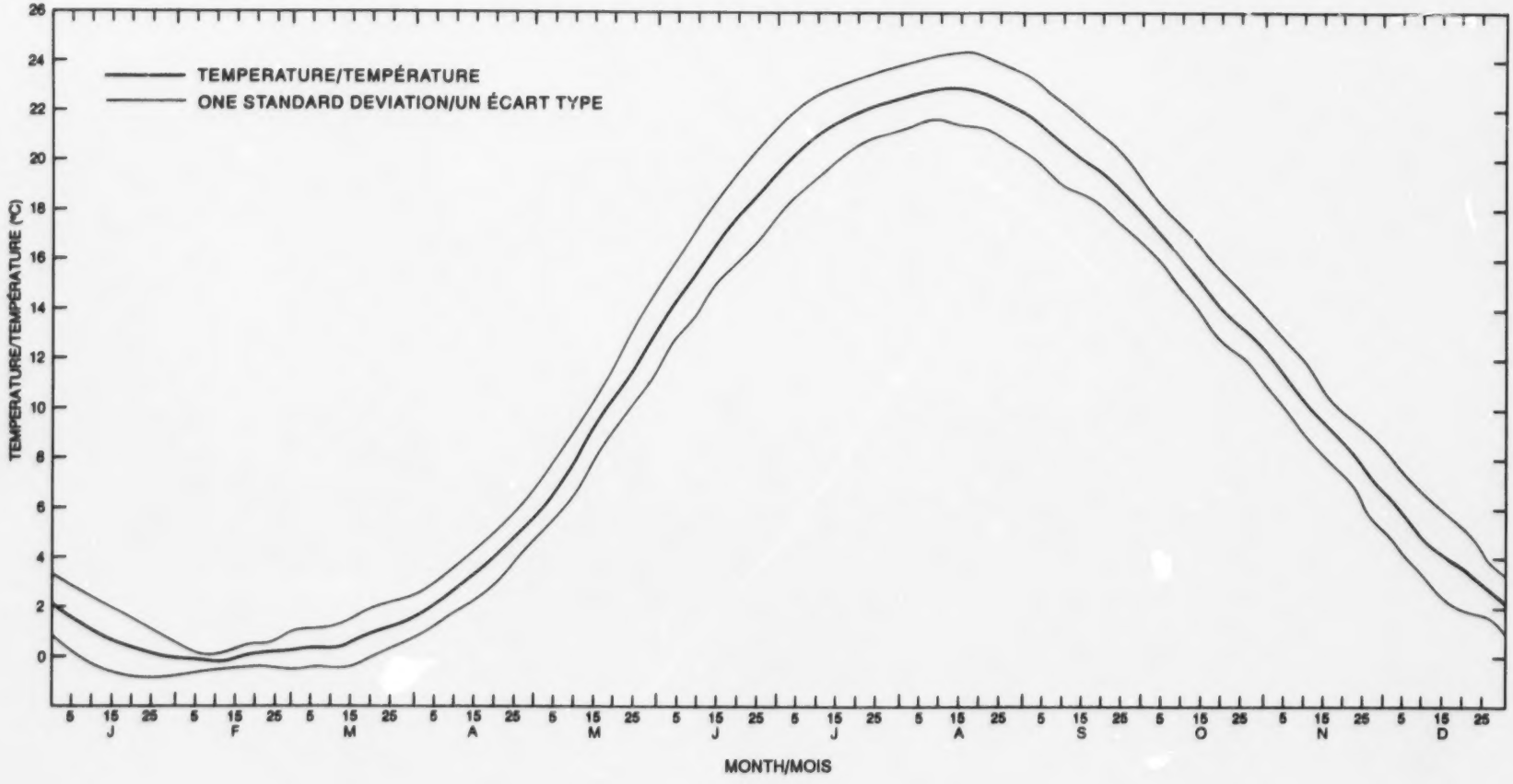
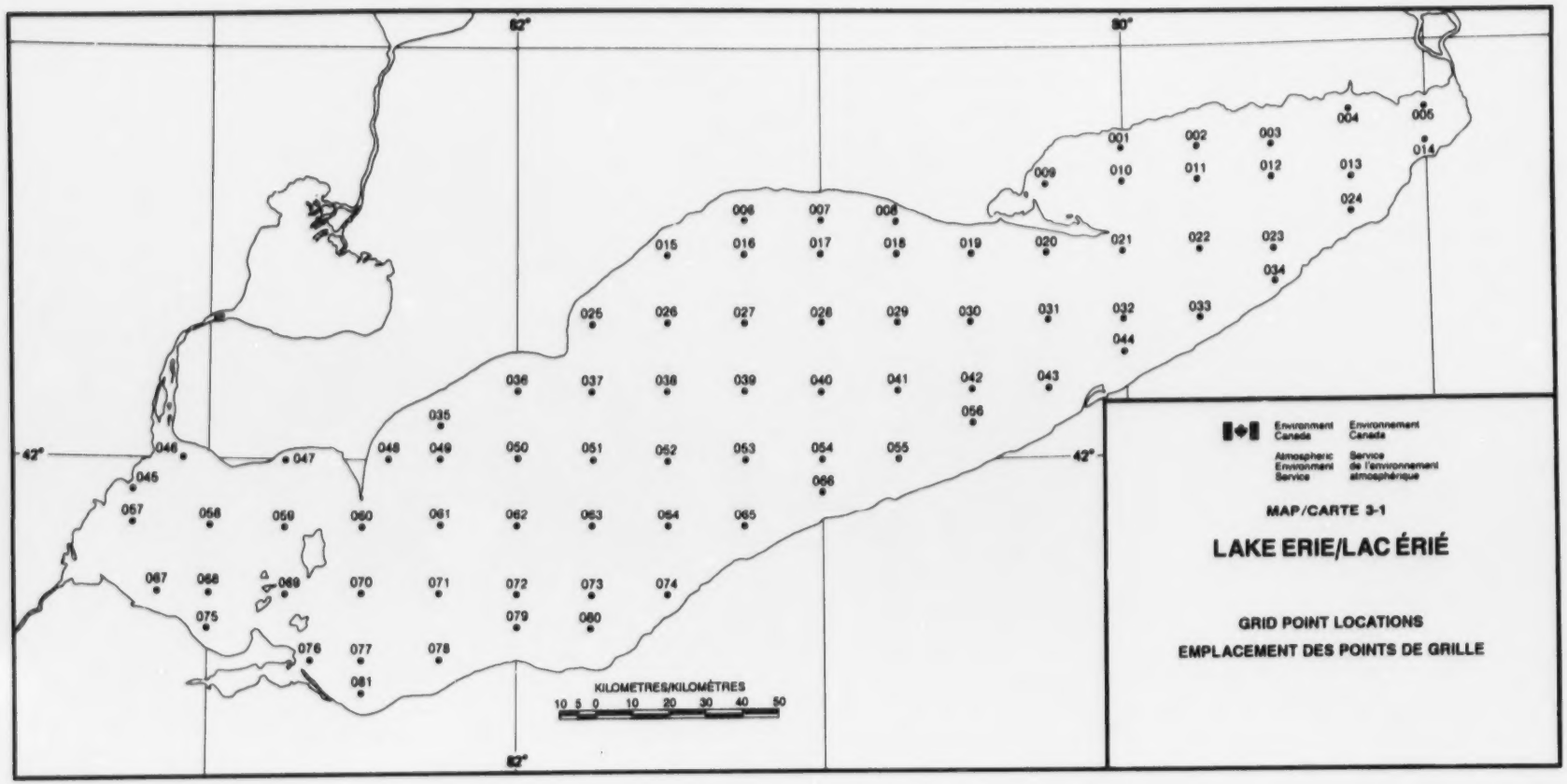
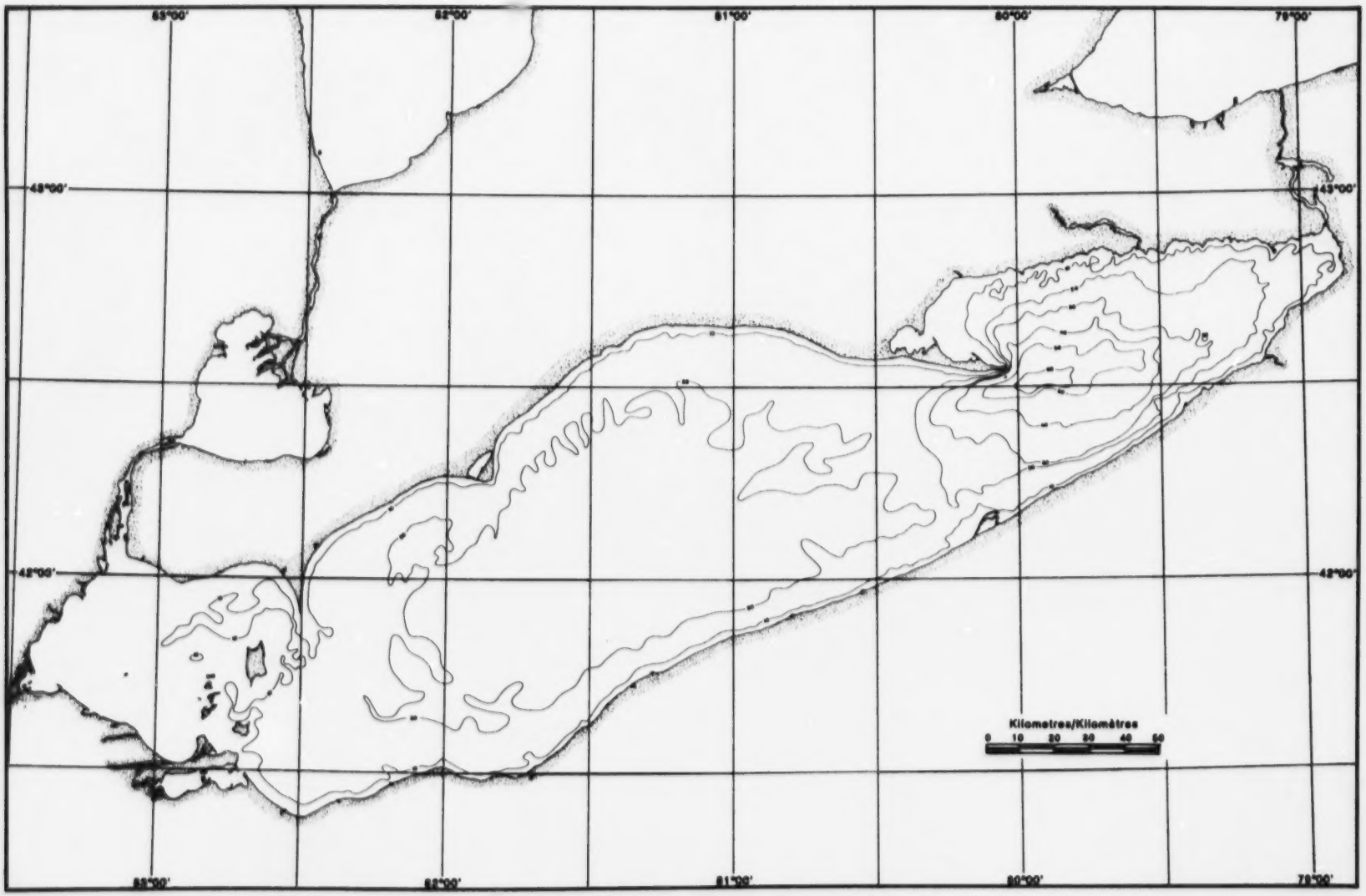


FIGURE 3-1 Lake Erie annual surface water temperature curve

Courbe du cycle annuel des températures des eaux de surface du lac Érié


82°
80°
42°
001
002
003
004
005
006
007
008
009
010
011
012
013
014
015
016
017
018
019
020
021
022
023
024
025
026
027
028
029
030
031
032
033
034
035
036
037
038
039
040
041
042
043
044
045
046
047
048
049
050
051
052
053
054
055
056
057
058
059
060
061
062
063
064
065
066
067
068
069
070
071
072
073
074
075
076
077
078
079
080
081
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-1
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
GRID POINT LOCATIONS
EMPLACEMENT DES POINTS DE GRILLE



MAP/CARTE 3-2 LAKE ERIE BATHYMETRY/
LAC ÉRIE BATHYMÉTRIE

Map 3-3 January 1

Fall overturn is completed in Lake Erie by January 1. The surface temperature field is depth-related: the closed 2-degree isotherm is nearly congruent with the 20-metre depth contour (refer to Map 3-2) and the warmest water (>3 degrees) occupies the deepest portion of the lake in the vicinity of GP22 (see Map 3-1). Temperature in the shallow western basin is approaching the freezing point.

The largest temperature variability (1.5+ degrees) occurs along the southeastern shore. This can perhaps be attributed to transport of warmer water from the central region to the downwind shore by the prevailing westerly winds. Formation of ice is possible in the western basin, where temperature is <1 degree and variability is 1+/- degree.

Map 3-4 January 16

Warmer than 1-degree water is found only in the deepest areas of the central and eastern basins. The western basin is normally covered by ice. Overall, the normal temperature range (i.e., mean +/- one standard deviation), indicates that at this time the lake can be ice-free in mild winters and nearly ice-covered in cold winters.

The greater variability along the southeast shore, noted on Map 3-3, persists and merges with a horseshoe-shaped variability high in the west-central basin. The latter feature overlies an area of reported strong bottom currents [22] and an anti-clockwise gyre centred in the vicinity of GP63 [23]. The circulation in the gyre region impinges on the upward-sloping bottom. Thus, warmer water is occasionally brought to the surface, increasing the variability of surface temperature and ice cover in this area. A smaller variability high at GP20 is also in an area of surfacing bottom currents.

Map 3-5 February 1

Only the central basin and Long Point Bay (vicinity of GP10) are normally ice-free. The 0.5-degree standard deviation isopleth coincides closely with the 0-degree isotherm. This implies that the normal temperature range in the vicinity of the 0-degree isotherm is from -0.5 to +0.5 degrees, leading to the conclusion that the ice edge is located in almost the same position from year

Carte 3-3 1er janvier

Dans le lac Érié, le renversement automnal est terminé au 1er janvier. Le champ thermique en surface est fonction de la profondeur : l'isotherme fermé de 2 degrés correspond à peu près à la courbe bathymétrique de 20 mètres (voir la carte 3-2) et l'eau la plus chaude (>3 degrés) occupe la portion la plus profonde du lac au voisinage de PG22 (voir carte 3-1). Dans le bassin ouest peu profond, la température approche du point de congélation.

La plus importante variabilité de température (1,5+ degré) s'observe le long de la rive sud-est. Cela est peut-être attribuable au transport d'eau chaude depuis la région centrale jusqu'à la rive au vent sous l'effet des vents d'ouest dominants. La glace peut se former dans le bassin ouest où la température est <1 degré et la variabilité est de 1+/- degré.

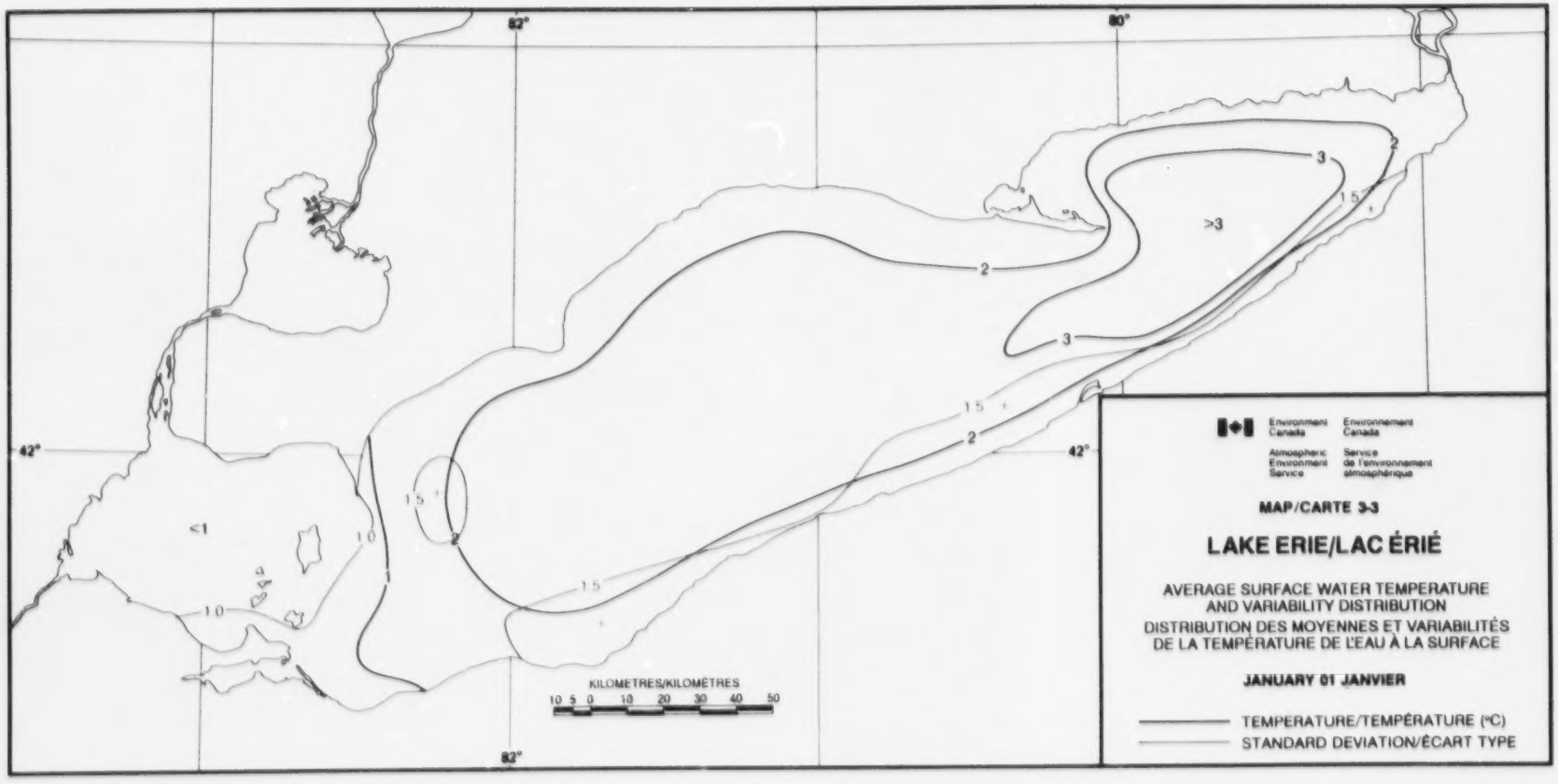
Carte 3-4 16 janvier

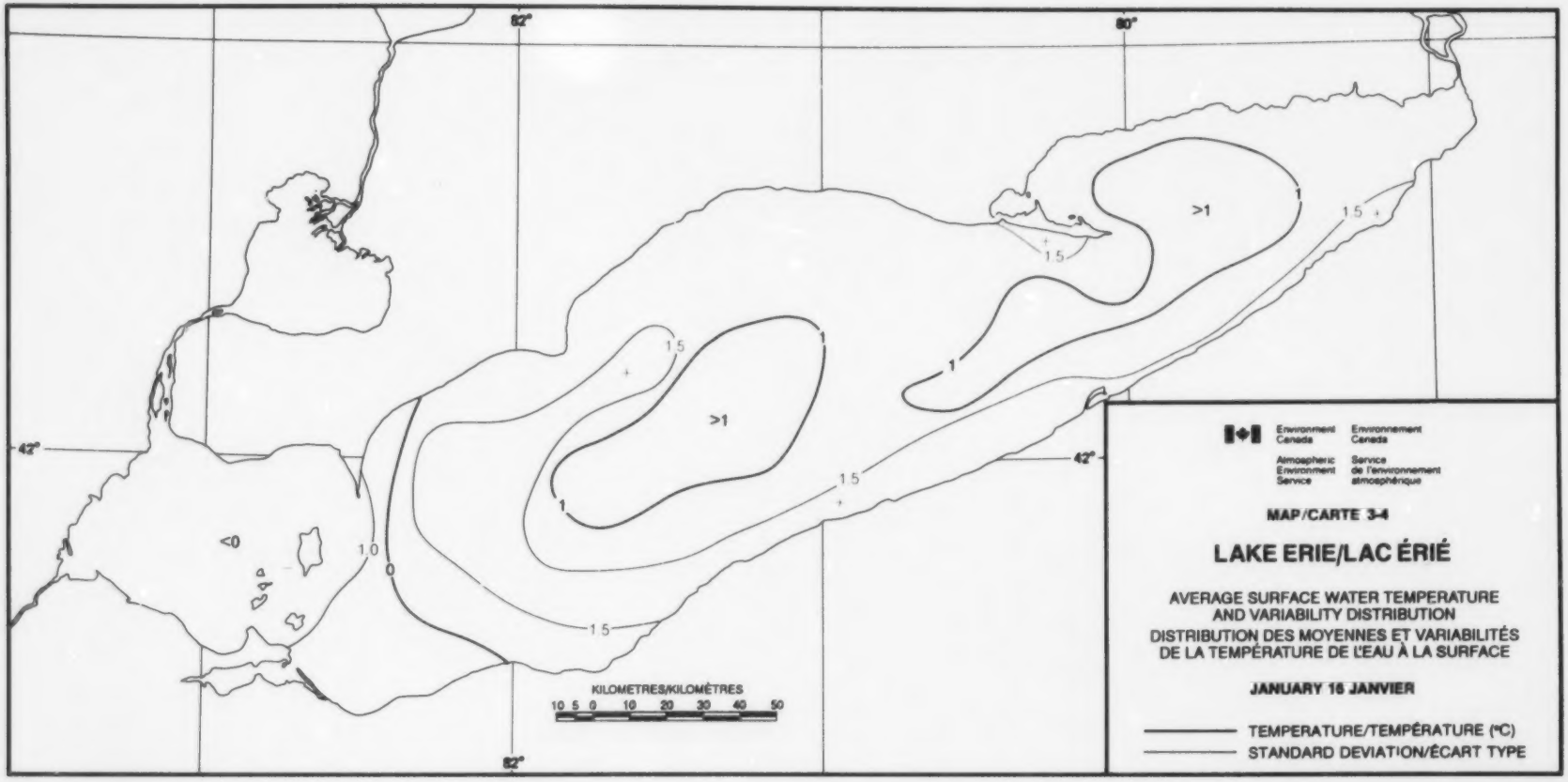
L'eau ne dépasse 1 degré que dans les régions les plus profondes des bassins du centre et de l'est. Le bassin ouest est normalement couvert de glace. En général, la plage normale des températures (c.-à-d., la moyenne +/- un écart type) révèle qu'à ce moment le lac peut être libre de glace lors d'hivers doux et pratiquement couvert de glace lorsque les hivers sont rigoureux.

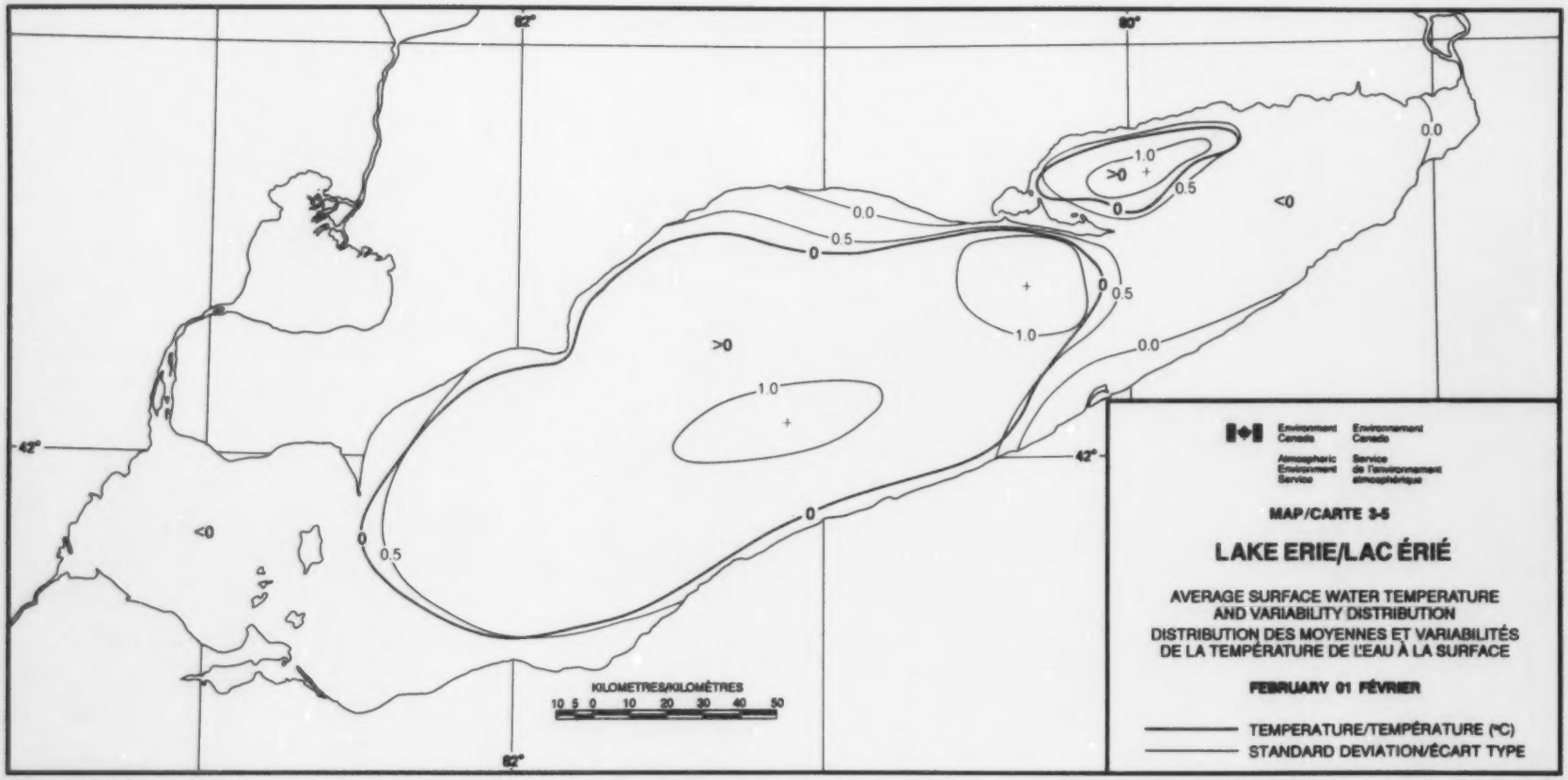
La variabilité la plus importante le long de la rive sud-est, notée à la carte 3-3, persiste et rejoint un maximum de variabilité en forme de fer à cheval dans le bassin centre-ouest. Ce maximum est situé au-dessus d'une zone où l'on a enregistré de forts courants de fond [22] ainsi qu'un tourbillon en sens anti-horaire centré au voisinage de PG63 [23]. Dans la région du tourbillon, la circulation se heurte au fond à pente inversée. De l'eau plus chaude est donc amenée à la surface à l'occasion, ce qui accroît la variabilité des températures de surface et de la couverture de glace dans cette région. Un plus petit maximum de variabilité à PG20 s'observe également dans une zone où les courants de fond remontent à la surface.

Carte 3-5 1er février

Seuls le bassin central et la baie Pointe Longue (voisinage de PG10) sont normalement libres de glace. L'isoplète correspondant à un écart type de 0,5 degré correspond étroitement à l'isotherme de 0 degré. Cela veut donc dire que l'amplitude normale des températures près de l'isotherme de 0 degré varie de -0,5 à +0,5 degré; la bordure de la glace est donc située à peu près au même


82°
80°
42°
42°
82°
3
2
1.5
>3
2
3
1.5
2
1.5
<1
1.0
1.0
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-3
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JANUARY 01 JANVIER
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


82°
80°
42°
42°
82°
>1
1
1.5
1.5
1
>1
1
1.5
1.5
<0
1.0
0
1.5
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-4
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JANUARY 16 JANVIER
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


82°
80°
42°
42°
82°
0.0
1.0
>0
0.5
0
<0
0.0
0.5
0
0
0.5
1.0
0.0
>0
1.0
<0
0
0.5
0
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-5
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
FEBRUARY 01 FÉVRIER
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE

to year and that the western and eastern basins are usually ice-covered at this time in the winter season.

The 1.0+ degree variability highs indicate areas where open water is most likely to occur. The variability highs centred on GP31 and GP10 are located in areas of upwelling bottom currents [22].

Map 3-6 February 15

Normally, minimum water temperatures and maximum ice cover occur at this time in the winter. Open water is found only along the southernmost stretch of the shore and in the west-central basin. The absence of ice in these areas is probably due to the combined effects of melting of the ice in the shallow waters under increasing solar heating, eastward transport of ice by prevailing westerly winds and upward circulation of water in the gyre region (vicinity of GP63) referred to on Map 3-4. Temperature variability over most of the lake is between 0.5 and 1.0 degrees, indicating that the lake can be completely ice-covered in cold winters and mostly ice-free in mild winters.

Map 3-7 March 1

The 0.5-degree isotherm is shown on this map to give some definition to the very featureless temperature gradient. Temperature over most of the lake is less than 0.5 degrees. Slightly warmer water is again found in the gyre region of the west-central basin (refer to Map 3-4).

Ice cover at this time can be quite variable from year to year. The beginning of the spring melt period is indicated by the absence of the 0-degree isotherm and by slightly warmer temperatures in the shallow waters in the extreme west end and in bay (vicinity GP9). However, the lake-wide 1.0+/- degree variability points to the fact that the lake can be generally ice-covered as well, if wintry conditions prevail.

Higher variability (1+ degrees), is found in a zone from the Long Point area (GP19 to GP11) southeast to, and along, the south shore. The increased surface temperature variability in this zone is caused by: upwelling bottom

endroit d'une année à l'autre et les bassins est et ouest sont généralement couverts de glace à cette époque de l'année.

Les maximums de variabilité de 1,0+ degré correspondent aux zones où il est plus probable de rencontrer des eaux libres. Les maximums de variabilité, centrés sur PG31 et PG10 sont situés dans les zones de remontée des courants de fond [22].

Carte 3-6 15 février

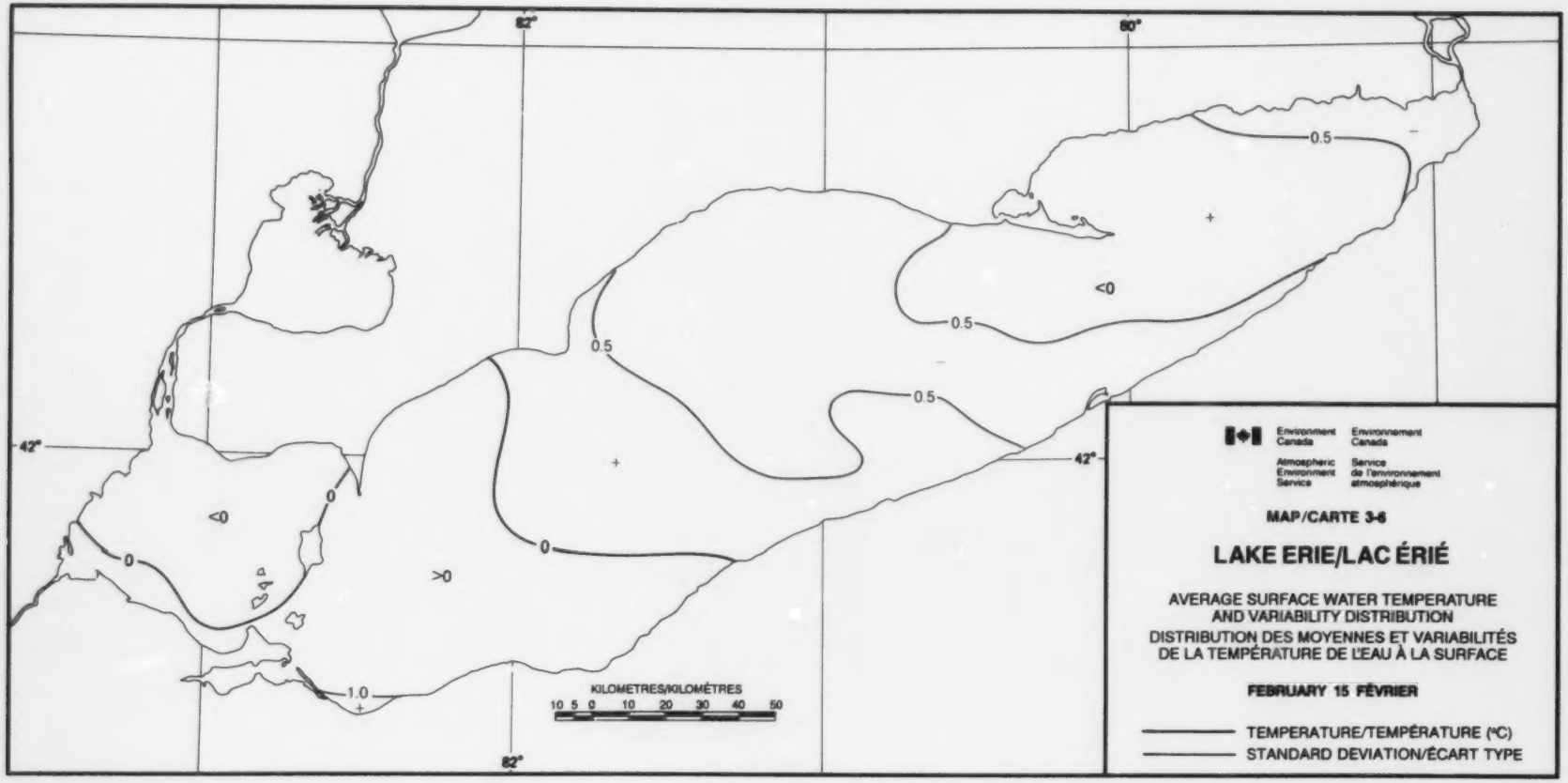
Normalement, les températures minimales de l'eau et la couverture maximale de glace se produisent en même temps. Les zones d'eau libre ne s'observent que le long de la partie la plus au sud du rivage et dans le bassin centre-ouest. L'absence de glace à ces endroits est probablement due aux effets combinés de la fonte de la glace dans les eaux peu profondes sous l'effet de l'accroissement du rayonnement solaire, du transport de la glace par les vents d'ouest dominants et de la circulation ascendante d'eau dans la région du tourbillon (au voisinage de PG63) dont il est question à la carte 3-4. La variabilité des températures va de 0,5 à 1,0 degré pour la majeure partie du lac, montrant bien que le lac peut être complètement couvert de glace lorsque les hivers sont rigoureux et à peu près libre de glace lorsque ceux-ci sont doux.

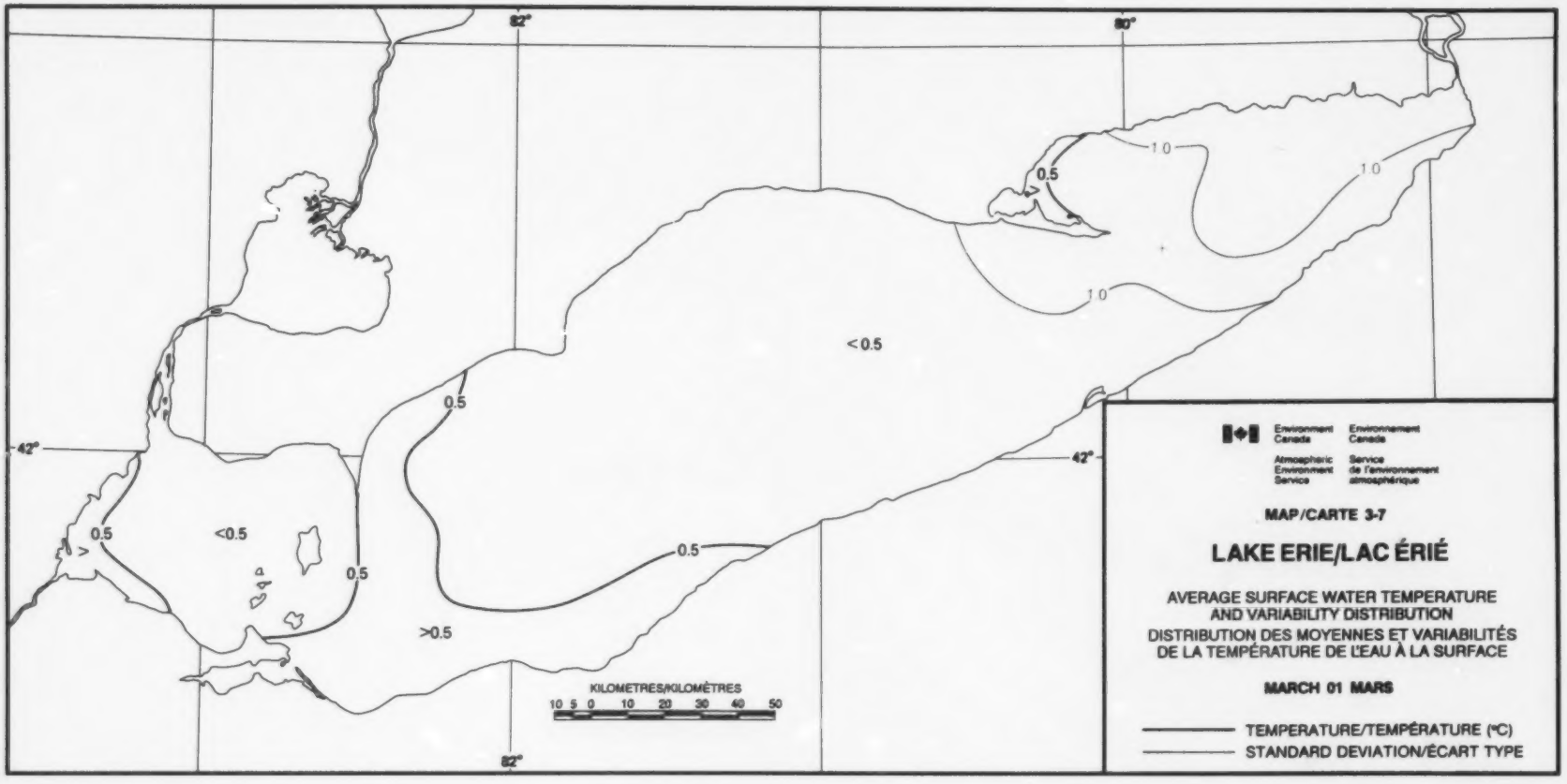
Carte 3-7 1er mars

Sur cette carte, l'isotherme de 0,5 degré permet de délimiter le gradient thermique, par ailleurs peu marqué. La température sur la majeure partie du lac est inférieure à 0,5 degré. De l'eau légèrement plus chaude s'observe de nouveau dans la région du tourbillon du bassin centre-ouest (se reporter à la carte 3-4).

A cette époque de l'année, la couverture de glace peut varier beaucoup d'une année à l'autre. Le début de la période de fonte printanière est marqué par l'absence de l'isotherme de 0 degré et par les températures légèrement plus chaudes dans les eaux peu profondes à l'extrémité ouest et dans la baie Pointe Longue (voisinage de PG9). Cependant, étant donné que la variabilité de tout le lac est de 1,0+/- degré, celui-ci peut aussi être généralement couvert de glace, dans le cas où des conditions hivernales sont présentes.

On constate une variabilité plus élevée (1+ degré) dans une zone qui va de la région de Pointe Longue (PG19 à PG11) le long de la rive sud en direction du sud-est. L'augmentation de la variabilité des températures de surface dans


82°
80°
42°
42°
0.5
0.5
0.5
<0
<0
0
0
0
>0
1.0
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-6
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
FEBRUARY 15 FÉVRIER
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


82°
80°
42°
42°
82°
0.5
1.0
1.0
1.0
<0.5
0.5
0.5
<0.5
0.5
0.5
>0.5
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-7
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
MARCH 01 MARS
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE

currents in the vicinity of Long Point, near-shore warming, and shifting of the edge of the ice pack, which is concentrated in the east end of the lake by wind.

Map 3-8 March 16

The surface temperature field remains very flat, at 1+/- degrees, during the ice melt period. Slightly warmer water is found in the western basin and along the south shore. However, the large temperature variability - between 1.0 and 1.5 degrees over most of the lake - indicates that extensive ice cover, or re-freezing, is still possible under cold weather conditions.

A low in the variability pattern (1.0-) occurs in the west-central gyre region (refer to Map 3-4), where the upwelling of sub-surface water minimizes both cooling and heating effects and maintains a more constant surface temperature.

Map 3-9 April 1

Onset of significant surface heating is apparent in the shallow western basin, but the temperature remains below 1 degree in the east end of the lake. As implied by the coincidence of 1.0+ variability, occurrence of ice in the east end at this time is not unusual. The prevailing westerly winds drive broken pan ice into the east end of the lake and keep it there, often delaying the start of ship traffic through the Welland canal.

The variability low of 1.0-, noted on Map 3-8, persists in the west-central gyre region. Significant increase in variability is apparent in the western basin, where changing weather conditions produce greater heating and cooling effects in the shallow water. The 1.5-degree standard deviation isopleth is nearly coincident with the 10-metre depth contour in this area.

Map 3-10 April 16

Summer stratification has commenced in the shallow waters of the western basin, where surface temperature is already warmer than 7 degrees. There is a marked increase in temperature variability (to 2+ degrees) in the density-stratified water in the western basin and in the shallow near-shore zone

cette zone est causée par la remontée de courants profonds près de Pointe Longue, le réchauffement littoral et le déplacement de la bordure de la banquise poussée vers l'extrémité du lac par le vent.

Carte 3-8 16 mars

Le champ des températures de surface demeure très plat, à 1 +/- degré, au cours de la période de fonte des glaces. De l'eau légèrement plus chaude s'observe dans le bassin ouest et le long de la rive sud. Une importante variabilité des températures (entre 1,0 et 1,5 degré sur la majeure partie du lac) montre cependant la possibilité d'une importante couverture de glace ou le regel par temps froid.

Il se produit un minimum de la configuration de la variabilité (1,0-) dans la région du tourbillon du centre-ouest (voir carte 3-4), là où la remontée d'eau souterraine minimise à la fois l'indice de réchauffement et de refroidissement et maintient une température superficielle plus uniforme.

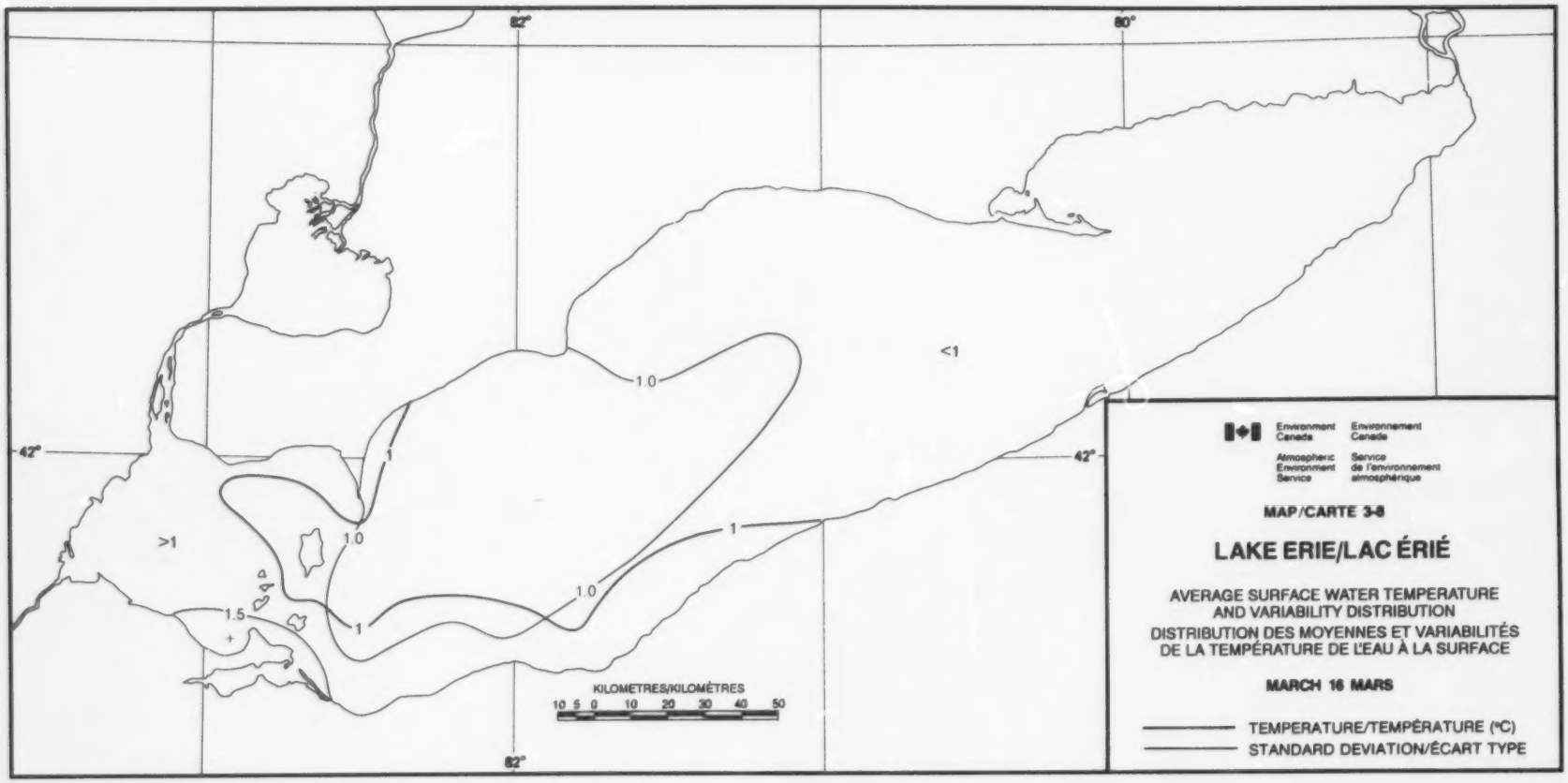
Carte 3-9 1er avril

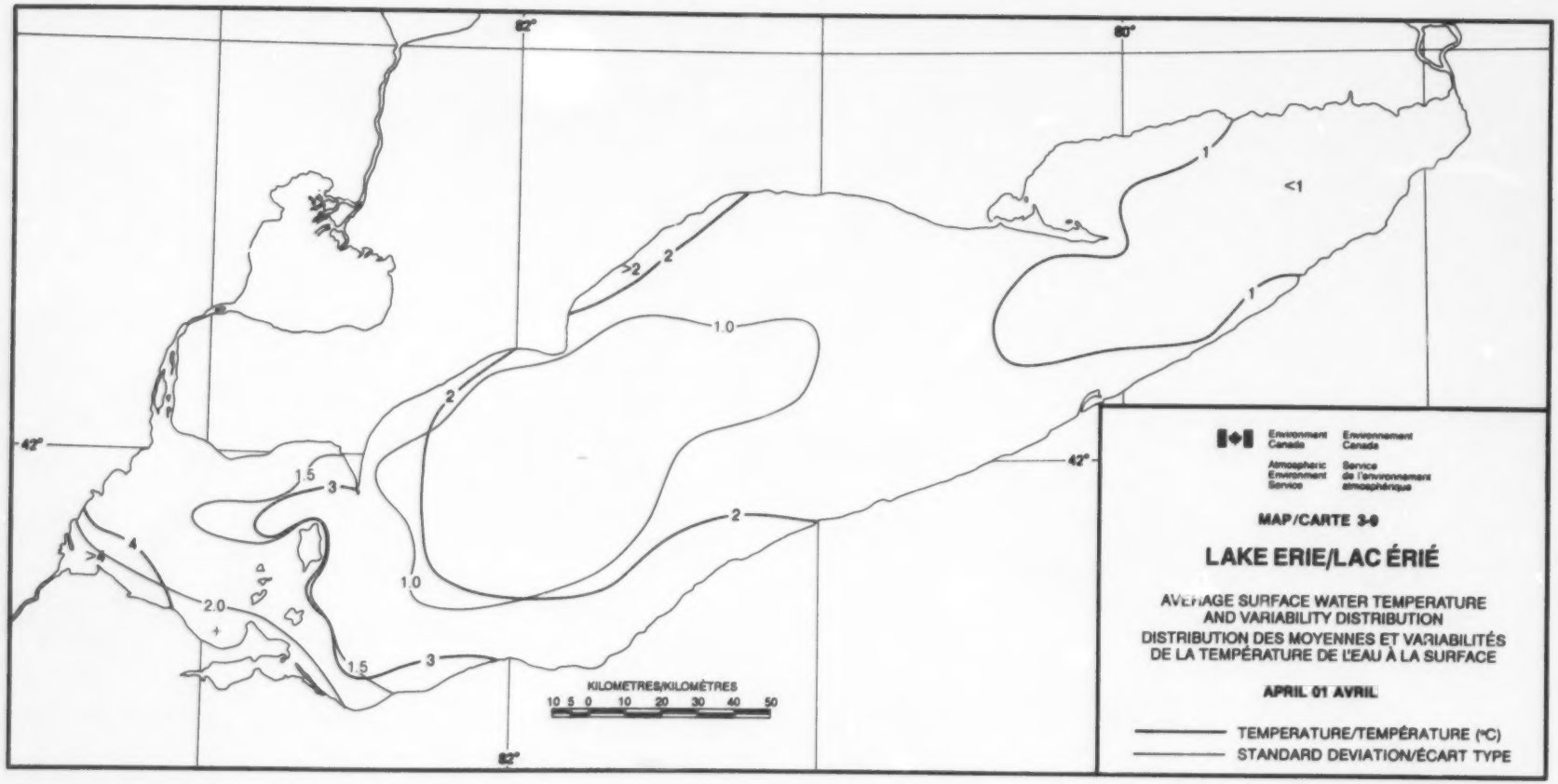
Le début d'un important réchauffement en surface est apparent dans le bassin ouest, peu profond, mais la température demeure inférieure à 1 degré dans l'extrémité est du lac. Il n'est pas inhabituel d'observer de la glace à cette époque dans l'extrémité est (coïncidence de la variabilité de 1,0+). Sous l'effet des vents d'ouest dominants, la glace en crêpes brisées se dirige vers l'est du lac et y demeure, ce qui retarde souvent le début de la navigation dans le canal Welland.

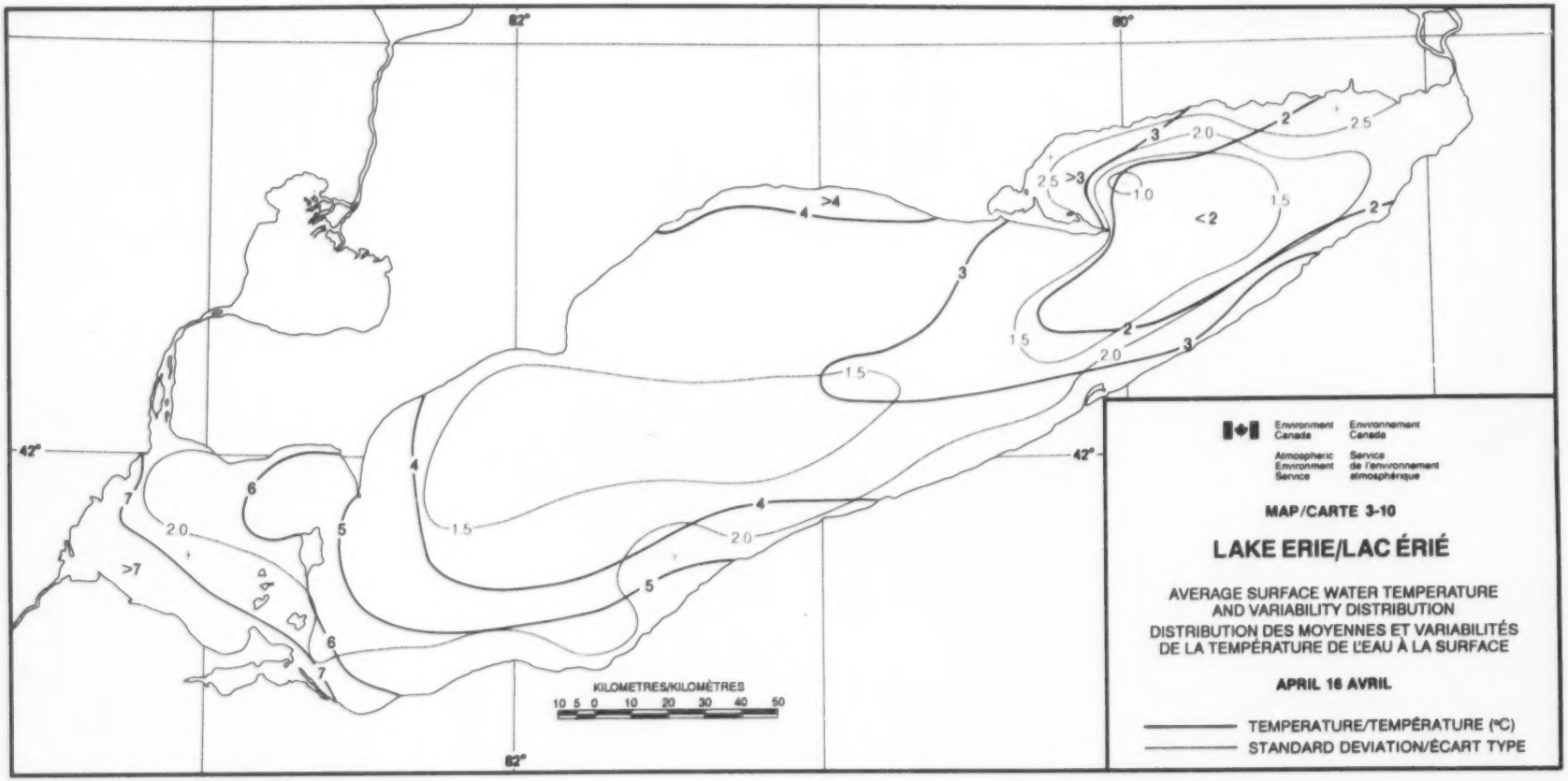
Le minimum de variabilité de 1,0-, noté à la carte 3-8, persiste dans la région du tourbillon du centre-ouest. Une augmentation considérable de la variabilité est nette dans le bassin ouest, où, sous l'effet de conditions météorologiques différentes se produisent de plus importants effets de réchauffement et de refroidissement en eau peu profonde. L'isoplète de 1,5 degré d'écart type correspond à peu près à la courbe bathymétrique de 10 mètres dans cette région.

Carte 3-10 16 avril

La stratification estivale a débuté dans les eaux peu profondes du bassin ouest, où les températures de surface dépassent déjà 7 degrés. On constate une augmentation marquée de la variabilité des températures (qui atteint 2+ degrés) dans l'eau à stratification de densité du bassin ouest et dans la zone peu profonde


82°
80°
42°
42°
82°
<1
1.0
1
1.0
1
1.0
>1
1.5
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-8
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
MARCH 16 MARS
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


82°
80°
42°
42°
82°
1
<1
1
>2
2
1.0
2
1.5
3
2
4
>4
2.0
1.0
1.5
3
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-9
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
APRIL 01 AVRIL
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


82°
80°
42°
42°
82°
>4
4
3
2
2.5
2.0
1.5
1.0
<2
>3
>7
7
6
5
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-10
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
APRIL 16 AVRIL
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE

along the south shore. This increase is due to surface water temperature changes in response to weather conditions: surface temperature is elevated by accumulation of incoming solar energy in the surface layers of the stratifying waters on calm sunny days; stratification is destroyed and surface temperature lowered by mechanical admixing of colder sub-surface water under windy conditions.

In contrast, the surface temperature remains at less than 2 degrees in the deeper eastern basin. Convective mixing in the unstratified waters of the central and eastern basins keeps surface temperature variability within the 1.0 to 1.5-degree range. The smallest variability (less than 1.0 degrees) is found in Long Point Bay (GP10), where the surface temperature is stabilized by upwelling bottom currents.

Temperature variability is also high (2.0 to 2.5+ degrees) in the east end, indicating that it is not unusual for the east end to be still congested with wind-driven remnants of pan ice.

Map 3-11 May 1

Early summer stratification, characterized by a depth-related surface temperature pattern, is forming in most of the lake, with the exception of the eastern basin, where surface temperature of less than 4 degrees is found in areas deeper than 25 metres.

Temperature variability is between 1.5 and 2.0 degrees over most of the lake, but exceeds 2.0 degrees in the warmer near-shore areas. A zone of lower variability (1.5- degrees) extends from the deeper portions of the central basin to near the north shore in the vicinity of GP36. This northward extension probably results from the damping of surface temperature fluctuations by upwelling of bottom waters from the gyre region referred to on Map 3-4. A second variability low (1.5- degrees) occurs in the unstratified water in the eastern basin. The 2.0 to 2.5+ degree variability in the east end indicates that occurrence of remnant ice is possible at this time during a cold spring.

Map 3-12 May 16

Summer stratification is established throughout the lake. The temperature pattern is depth-related, with the coldest water located in the deepest part of

de la rive sud. Cette augmentation est liée à des variations de la température des eaux de surface qui répond aux conditions météorologiques : la température de surface augmente sous l'effet de l'accumulation de l'énergie solaire descendante dans les couches supérieures des eaux stratifiées les jours calmes et ensoleillés; l'ajout, par brassage mécanique sous l'action des vents, d'eau subsuperficielle plus froide détruit la stratification et abaisse la température de surface par mélange mécanique.

Dans le bassin est, plus profond, les températures de surface demeurent au contraire inférieures à 2 degrés. Sous l'effet du brassage convectif des eaux non stratifiées dans les bassins centre et est, la variabilité des températures demeure dans la plage de 1,0 à 1,5 degré. La variabilité la plus faible (inférieure à 1,0 degré) s'observe dans la baie Pointe Longue (PG10) où la température est stabilisée par la remontée des courants de fond.

La variabilité est également élevée (2,0 à 2,5+ degrés) dans l'extrémité est, ce qui reflète qu'il n'est pas inhabituel à cette époque de constater dans cette partie du lac des morceaux de glace en crêpe balayés par le vent.

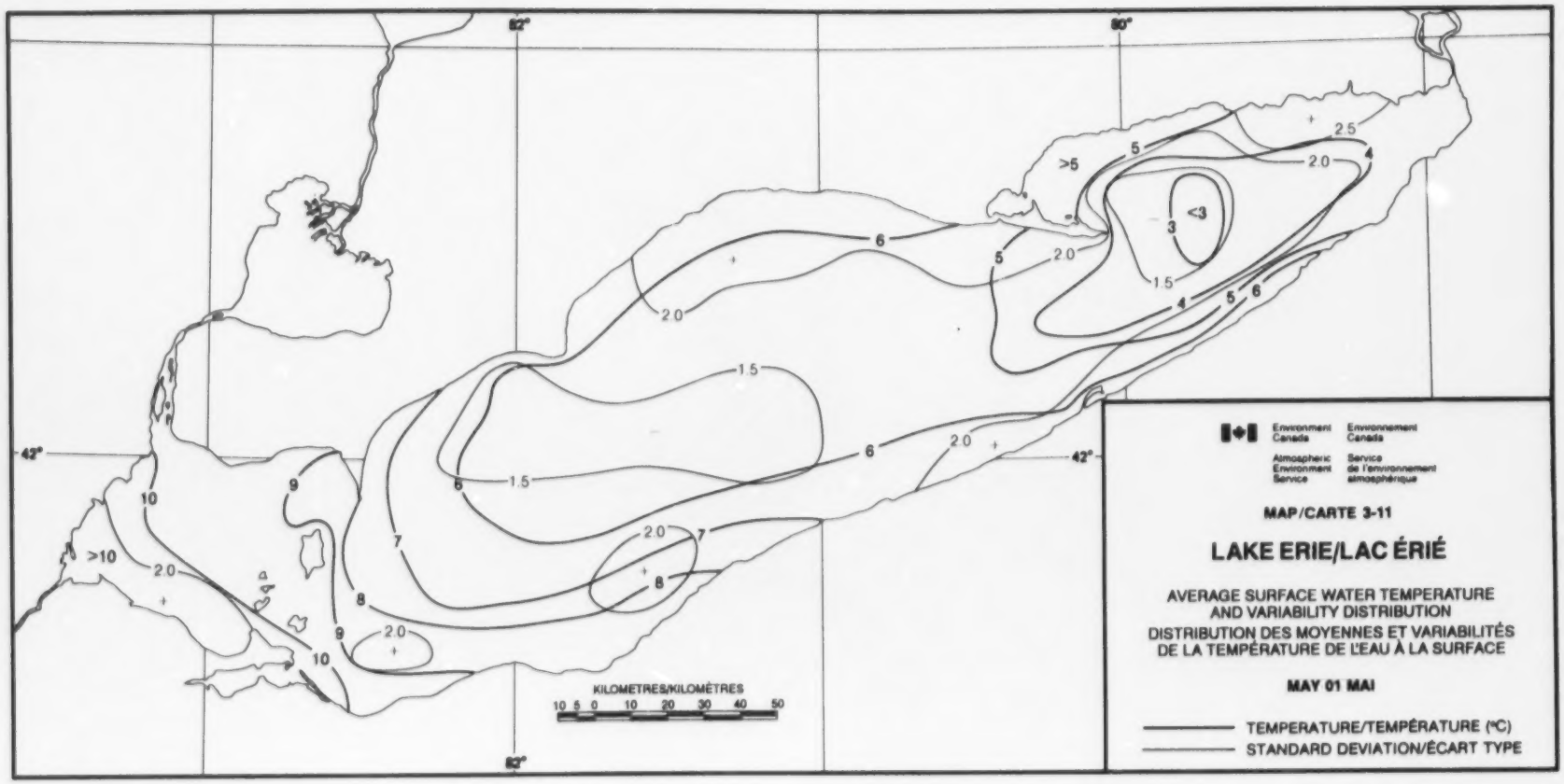
Carte 3-11 1er mai

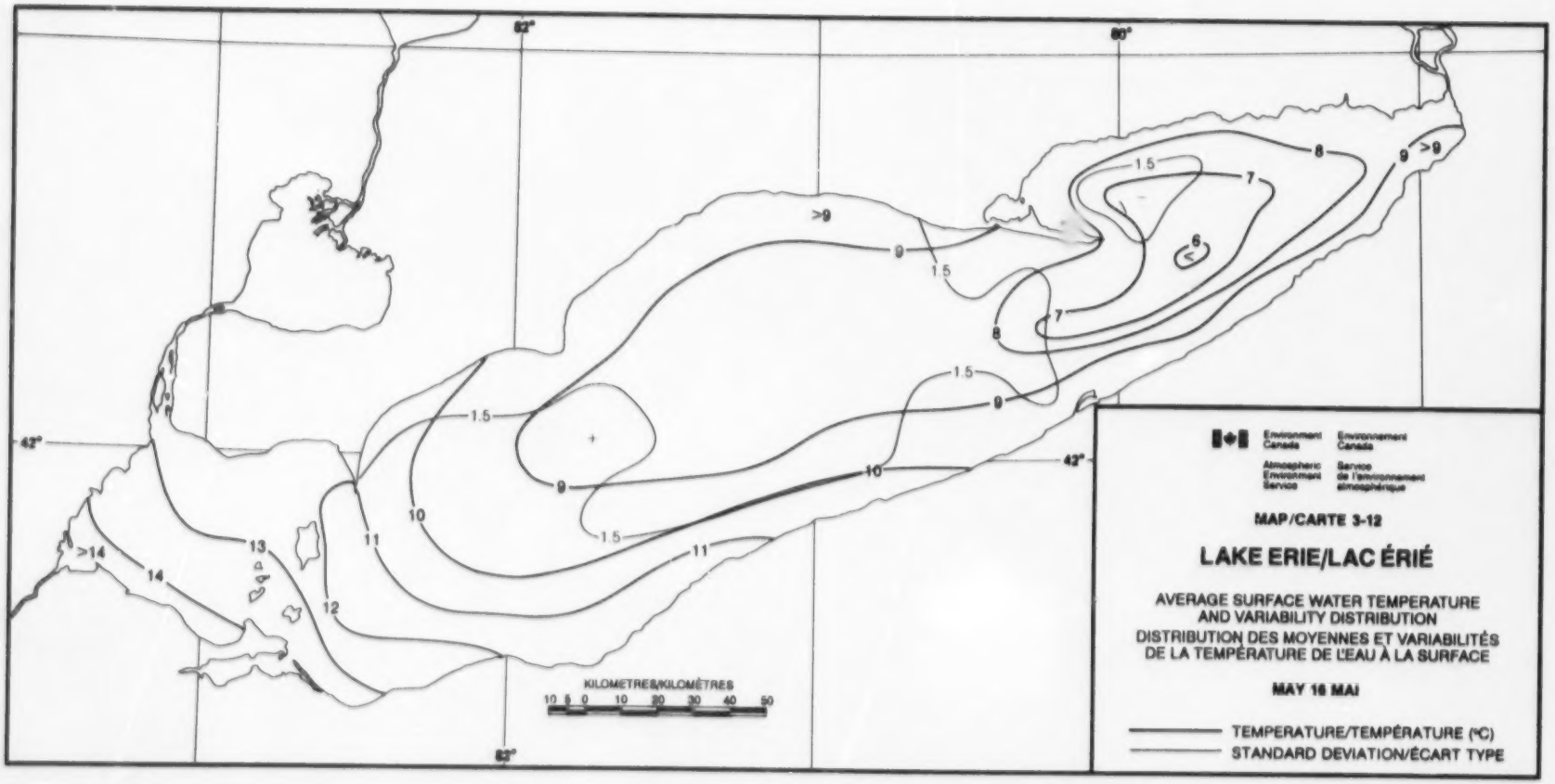
La stratification du début de l'été, caractérisée par une configuration des températures liés à la profondeur, se produit dans la majeure partie du lac, à l'exception du bassin est ou les températures de surface sont inférieures à 4 degrés là où la profondeur dépasse 25 mètres.

La variabilité se situe entre 1,5 et 2,0 degrés pour la majeure portion du lac, mais dépasse 2,0 degrés dans les zones littorales, plus chaudes. On constate la présence d'une zone à variabilité inférieure (1,5- degré) qui va de la portion la plus profonde du bassin central jusqu'au voisinage de la rive nord près de PG36. L'extension vers le nord s'explique probablement par l'atténuation des fluctuations des températures de surface sous l'effet de la remontée des eaux profondes dans la région du tourbillon (voir carte 3-4). Il se produit un deuxième minimum de variabilité (1,5- degré) dans l'eau non stratifiée du bassin oriental. La variabilité de 2,0 à 2,5+ degrés de l'extrémité est correspond en fait qu'il est possible d'observer des restes de glace durant un printemps froid.

Carte 3-12 16 mai

La stratification estivale est établie dans tout le lac. La configuration thermique est liée à la profondeur, l'eau la plus froide étant située dans la


82°
80°
42°
>5
5
2.5
2.0
4
<3
3
6
5
2.0
1.5
4
5
6
2.0
1.5
6
2.0
42°
1.5
6
9
10
>10
2.0
7
2.0
7
8
8
9
2.0
10
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
82°
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-11
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
MAY 01 MAI
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


82°
80°
42°
>9
9
1.5
8
7
6
10
11
12
13
14
>14
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-12
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
MAY 16 MAI
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE

the lake in the vicinity of GP22. The variability field is quite uniform, at 1.5+/- degrees.

Map 3-13 June 1

The depth-related temperature pattern persists in most of the lake. Cloud amount - a very changeable, weather-dependent parameter - becomes a critical factor for heat input during the period of maximum available insolation. Consequently, there is a general increase in temperature variability, which now ranges from 2.0 to 2.5 degrees over most of the lake.

Map 3-14 June 16

The surface temperature gradient is decreasing in the thickening epilimnion and the temperature pattern is no longer related to lake depth. Temperature variability remains in the 2.0 to 2.5 degree range.

Small upwelling areas are indicated by temperature lows in the vicinity of GP1 and GP15. The variability high (2.5+) in the GP21 to GP22 area is probably due to temperature fluctuations that result from the occasional surfacing of colder water from a prevailing bottom current which enters Long Point bay from the southeast [22], [23].

Map 3-15 July 1

The surface temperature gradient is decreasing in the mature epilimnion. The prevailing westerly wind regime effects a net transport of warm surface water to the southern shore and upwelling of cooler water along the north shore. This creates a north-to-south surface temperature gradient. Temperature variability is quite uniform throughout at 2.0+/- degrees.

Map 3-16 July 16

The surface temperature field maintains the flat north-to-south temperature gradient and a uniform variability range (2.0+/- degrees) established at the beginning of the month. The Detroit river inflow (GP46) appears slightly cooler than the western basin waters. Upwelling is indicated by the less than 20-degree temperature in the vicinity of GP10, and by the faint variability high of 2.0+ degrees near GP25.

partie la plus profonde du lac, près de PG22. Le champ de variabilité est relativement uniforme (1,5+/- degré).

Carte 3-13 1er juin

La configuration thermique liée à la profondeur persiste dans la majeure portion du lac. La nébulosité (paramètre très variable lié au temps) devient critique à l'apport de chaleur au cours de la période d'insolation maximale disponible. Il se produit donc une augmentation générale de la variabilité des températures, qui s'étend de 2,0 à 2,5 sur la majeure partie du lac.

Carte 3-14 16 juin

Le gradient des températures de surface diminue dans l'épilimnion qui s'épaissit et le régime des températures n'est plus lié à la profondeur du lac. La variabilité des températures demeure entre 2,0 et 2,5 degrés.

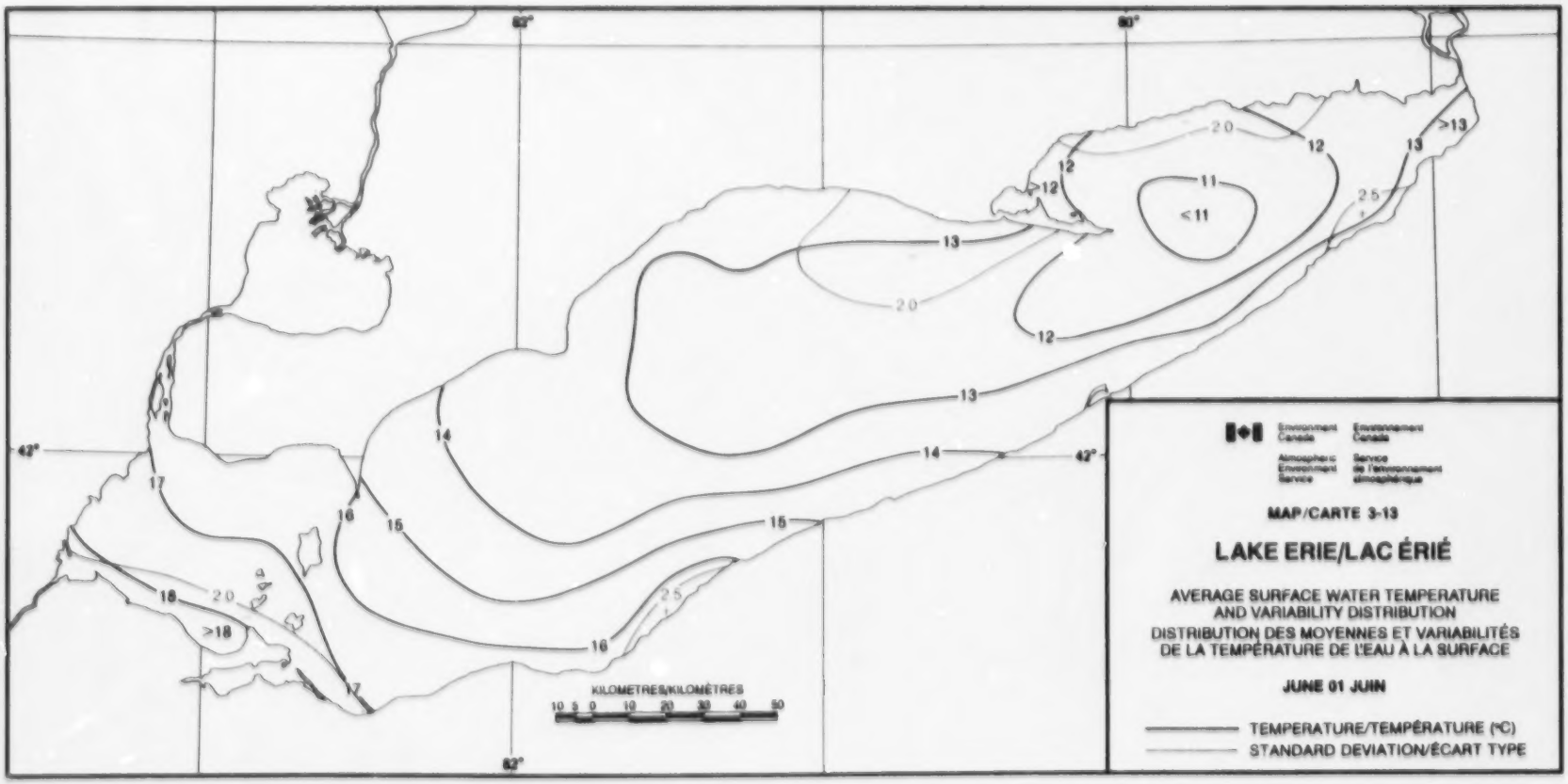
De petites zones de remontée d'eau sont indiquées par des minimums de température près de PG1 et de PG15. Le maximum de variabilité (2,5+) dans la région de PG21 à PG22 est probablement dû aux fluctuations thermiques qui résultent de la remontée occasionnelle d'eau plus froide venant d'un courant de fond dominant qui pénètre dans la baie de Pointe Longue en provenance du sud-est [22], [23].

Carte 3-15 1er juillet

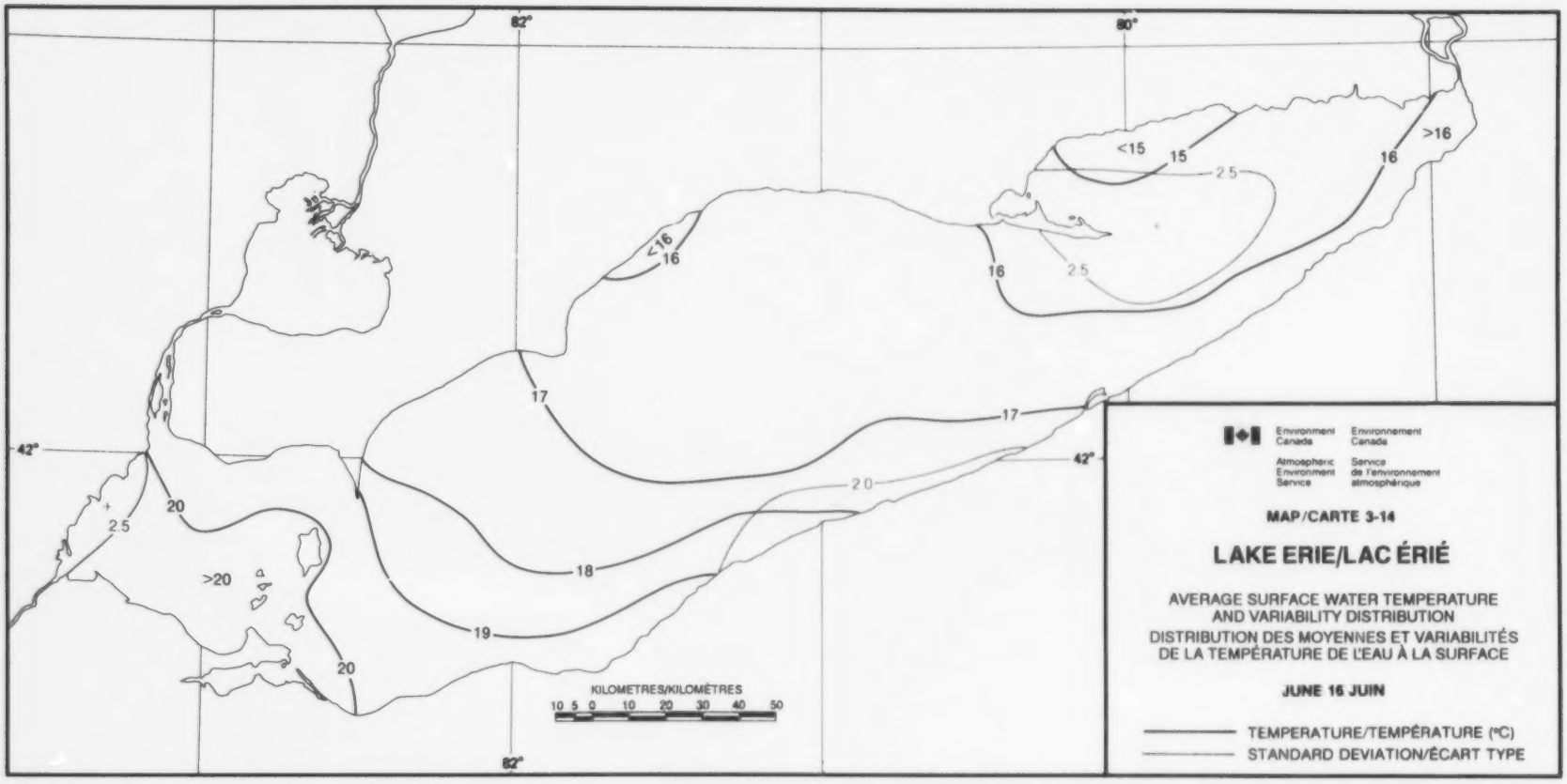
Le gradient des températures diminue dans l'épilimnion parvenu à maturité. Les vents d'ouest dominants entraînent un transport net d'eau de surface chaude vers la rive sud et la remontée d'eau plus froide le long de la rive nord. Cela crée un gradient des températures de surface nord-sud. La variabilité thermique est relativement uniforme partout (2,0+/- degrés).

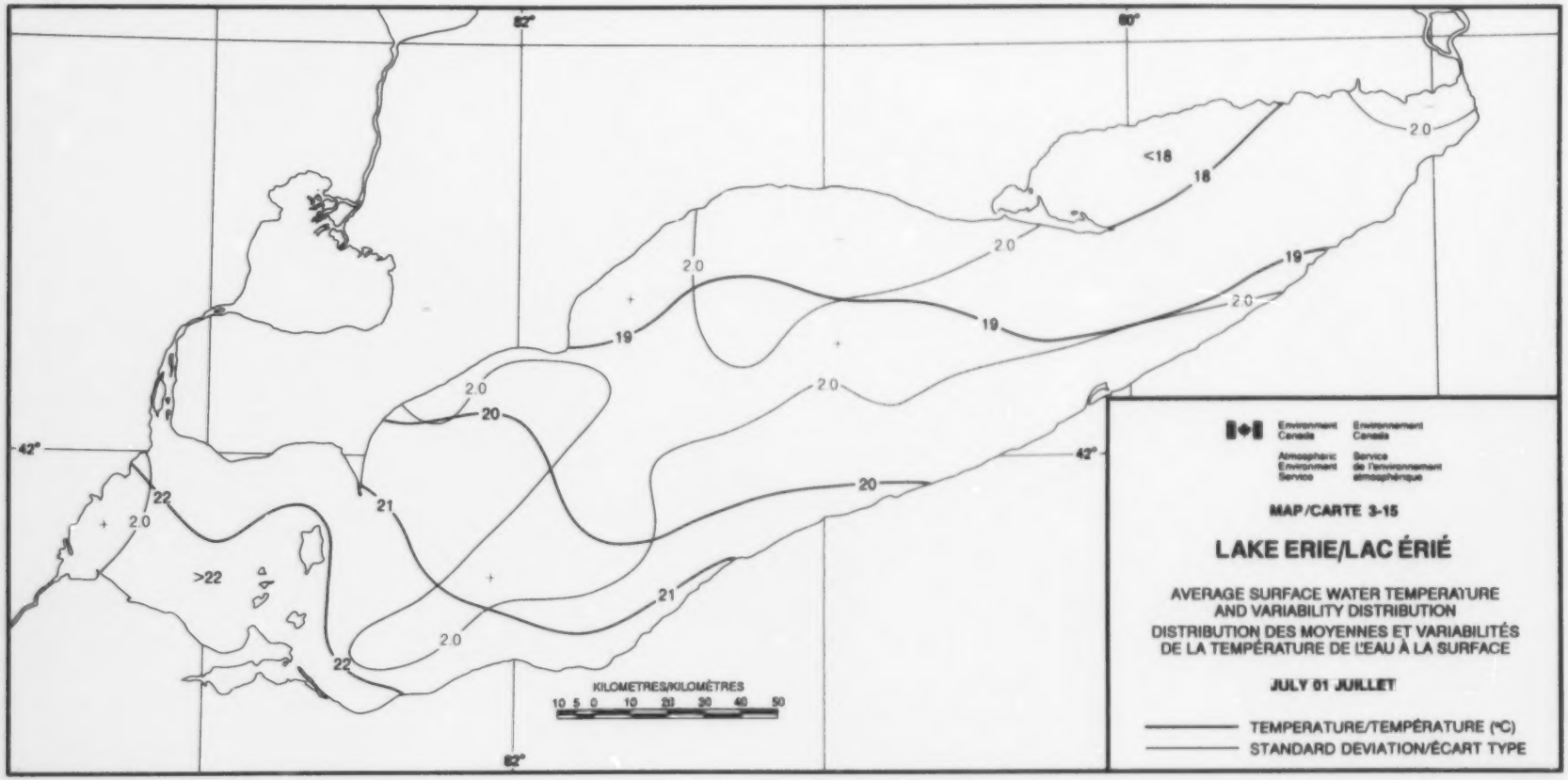
Carte 3-16 16 juillet

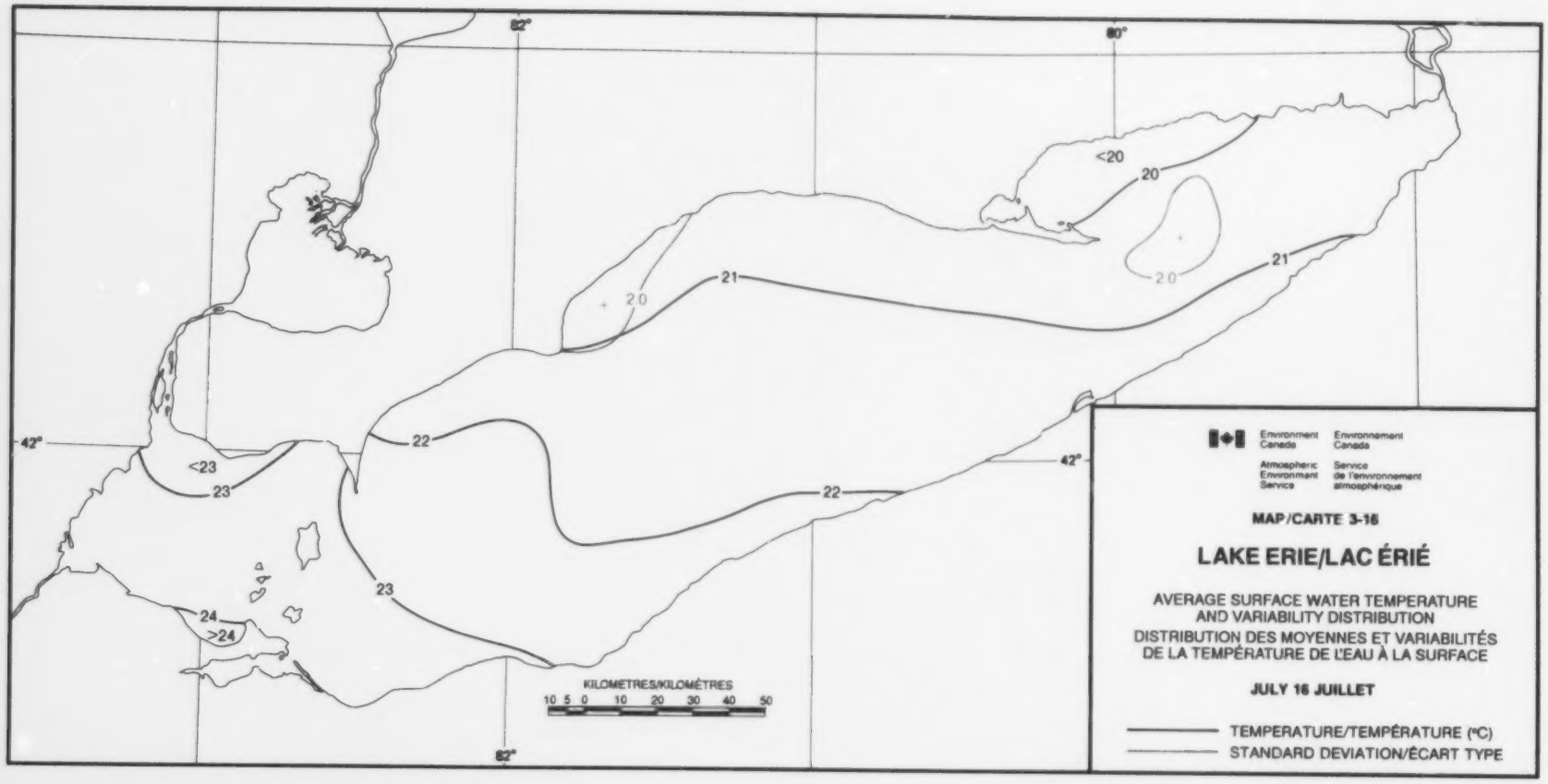
Le champ des températures de surface conserve le gradient thermique nord-sud faible et la variabilité uniforme (2,0+/- degrés) établis au début du mois. L'écoulement de la rivière Detroit (PG46) apparaît légèrement plus froid que les eaux du bassin ouest. Les remontées d'eau profonde sont indiquées par la température inférieure à 20 degrés au voisinage de PG10 et par le faible maximum de variabilité de 2,0+ degrés près de PG25.



82°
80°
42°
42°
82°
11
<11
12
13
>13
12
>12
13
12
13
14
14
15
15
16
16
17
17
18
>18
2.0
2.0
2.0
2.5
2.5
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-13
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JUNE 01 JUIN
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


82°
80°
42°
<15
15
25
>16
16
<16
16
25
17
17
20
18
19
20
25
20
>20
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-14
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JUNE 16 JUIN
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


82°
80°
42°
<18
18
19
20
21
22
>22
2.0
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-15
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JULY 01 JUILLET
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


82°
80°
42°
<20
20
21
22
23
24
>24
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-16
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JULY 16 JUILLET
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE

Map 3-17 August 1

The surface temperature is approaching summer maximum values. The surface temperature range is reduced to only 3 degrees in the thick and well-mixed epilimnion. Variability range is also small: 1.5 to 2.0+ degrees in the upwelling-prone north shore zone and in the very warm western basin, and 1.5- degrees in the remainder of the lake.

Map 3-18 August 16

Surface temperature is at the summer maximum. The temperature pattern is similar to that of Aug. 1, but the 22 and 23-degree isotherms have advanced slightly northward. The variability pattern is also similar to that on Aug. 1. Occurrence of upwelling along the north shore from Point Pelée (GP48) east to Long Point bay (GP10) is indicated by the 1.5+ to 2.0+ degree variability highs.

Map 3-19 September 1

Cooling of the water mass has commenced. Surface temperature has decreased by about 1.5 degrees overall from the summer maximum of mid-August. The epilimnion layer is becoming progressively more uniform in temperature through both mechanical and convective mixing. The surface temperature range is only about 2 degrees lake-wide. The Detroit river inflow is slightly cooler than the waters in the western basin. Variability is also quite uniform; greatest variability (2.0+) is found in the shallow west end, where heating and cooling produce a more rapid response in surface temperature.

Map 3-20 September 16

Although the surface temperature gradient is small in the well-mixed epilimnion, shallow water cooling is indicated by the temperature of less than 20 degrees in the western basin. The configuration of the 1.5-degree standard deviation isopleth indicates somewhat larger temperature variability in the near-shore zone in response to both night time cooling and day time re-heating.

Carte 3-17 1er août

Les températures de surface se rapprochent des maximums d'été. La plage des températures diminue à 3 degrés seulement dans l'épilimnion épais et bien mélangé. La gamme des variabilités est également faible : 1,5 à 2,0+ degrés dans la zone de la rive nord sujette aux remontées d'eau et dans le bassin ouest très chaud et 1,5- degré dans le reste du lac.

Carte 3-18 16 août

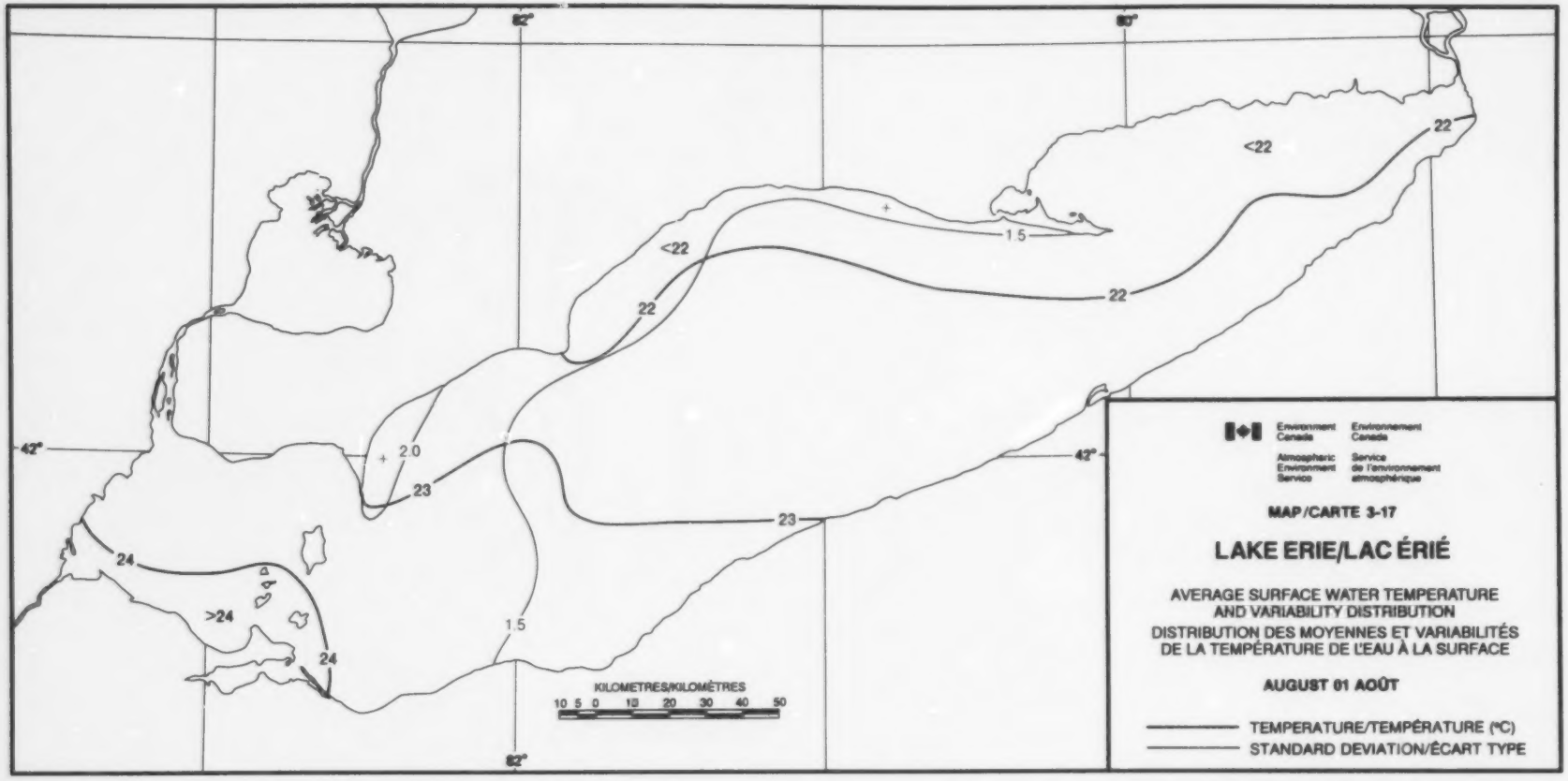
Les températures de surface ont atteint leur maximum. Le régime des températures est semblable à celui du 1er août, mais les isothermes de 22 et de 23 degrés se sont légèrement déplacés vers le nord. La configuration de la variabilité est également semblable à celle du 1er août. La présence de remontées d'eau le long de la rive nord depuis la pointe Pelée (PG48) vers l'est jusqu'à la baie Pointe Longue (PG10) est indiquée par les maximums de variabilité de 1,5+ à 2,0+.

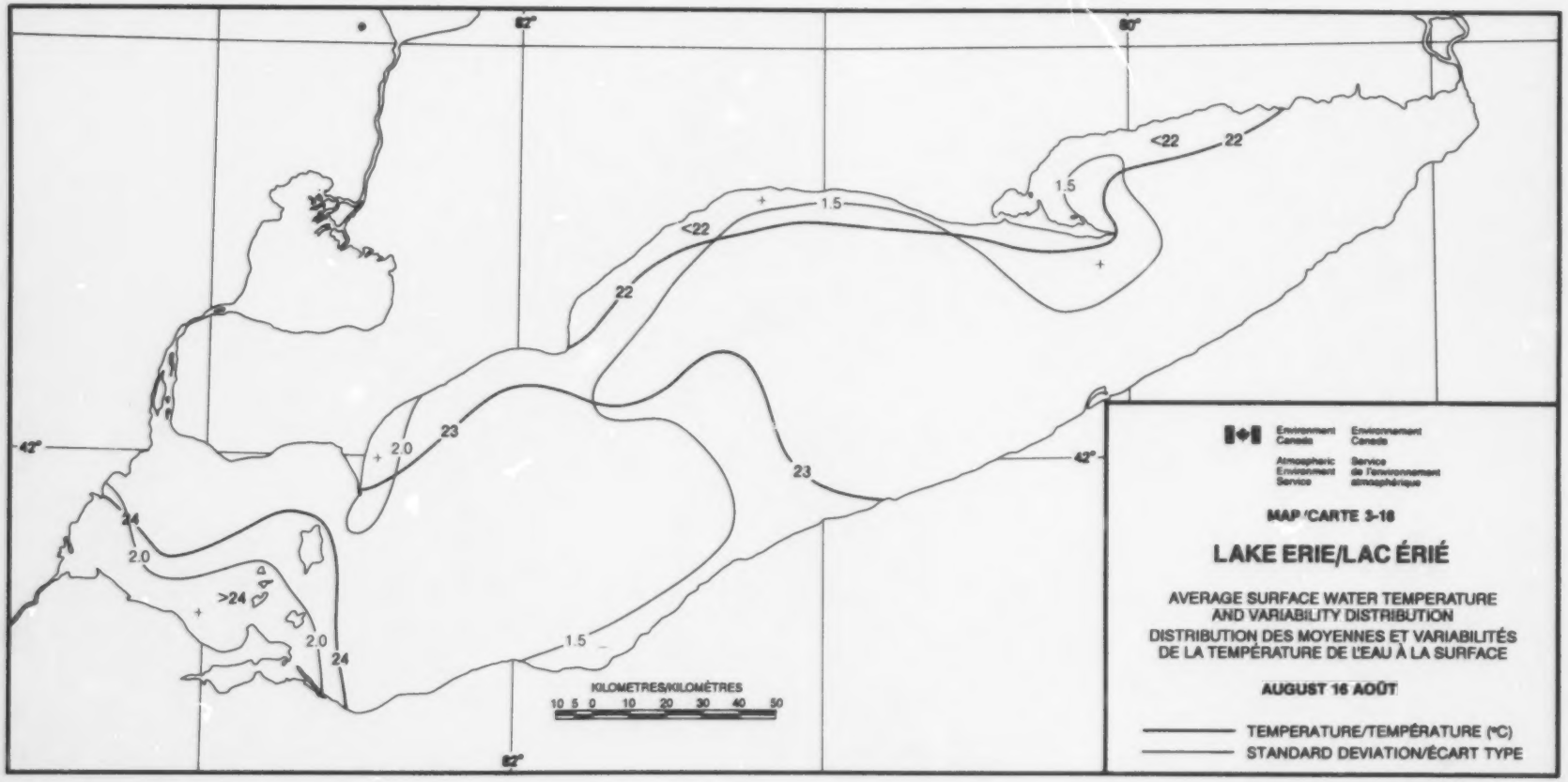
Carte 3-19 1er septembre

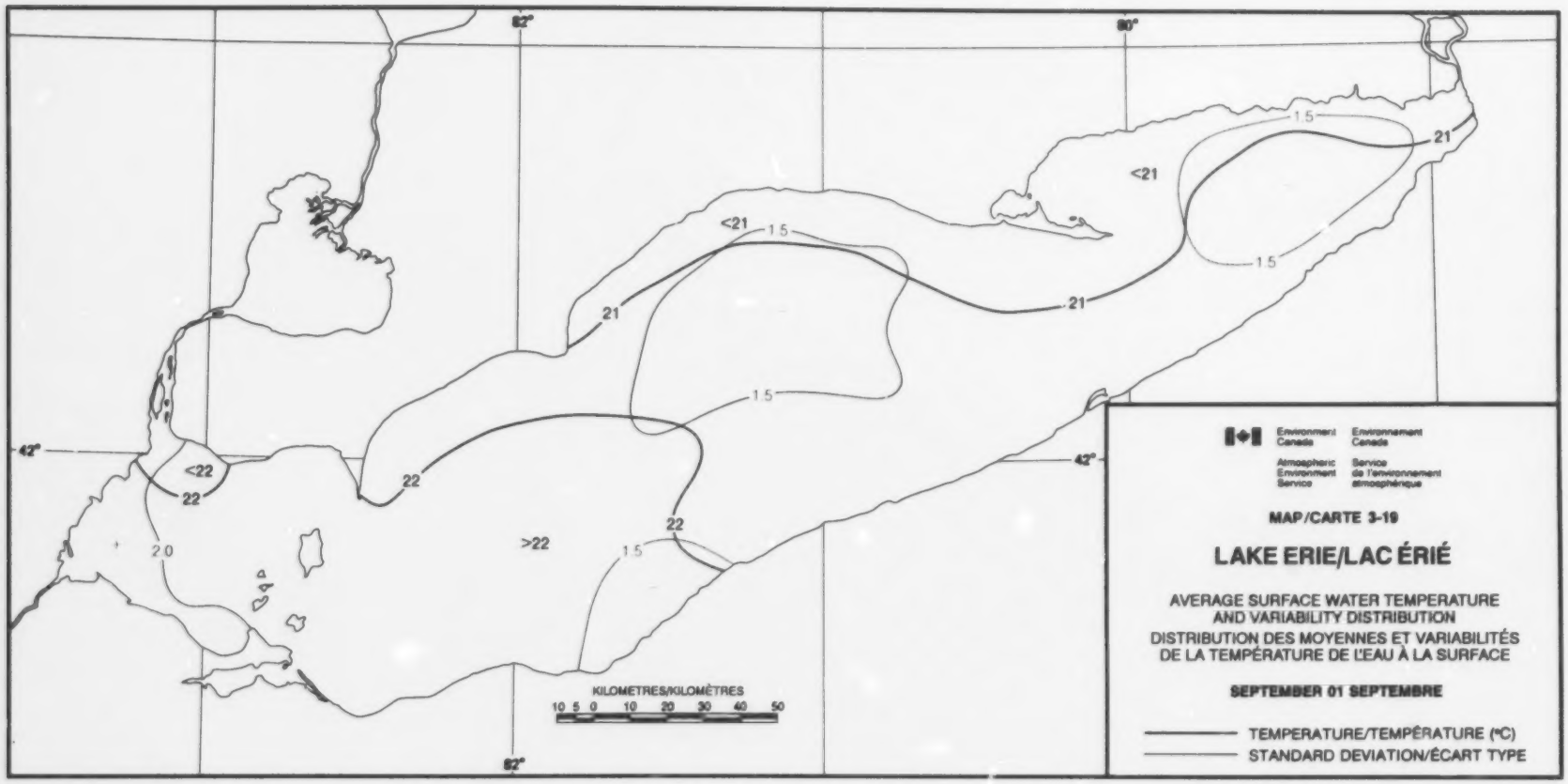
Le refroidissement de la masse d'eau a commencé. Les températures de surface ont diminué globalement d'environ 1,5 degré depuis le maximum enregistré à la mi-août. La température de l'épilimnion devient de plus en plus uniforme sous l'effet du brassage mécanique et convectif. La gamme des températures de surface n'est que d'environ 2 degrés pour tout le lac. Les eaux de la rivière Detroit sont légèrement plus froides que les eaux du bassin de l'ouest. La variabilité est aussi relativement uniforme; la variabilité la plus marquée (2,0+) s'observe dans la portion ouest, peu profonde, où les températures de surface répondent plus rapidement au réchauffement et au refroidissement.

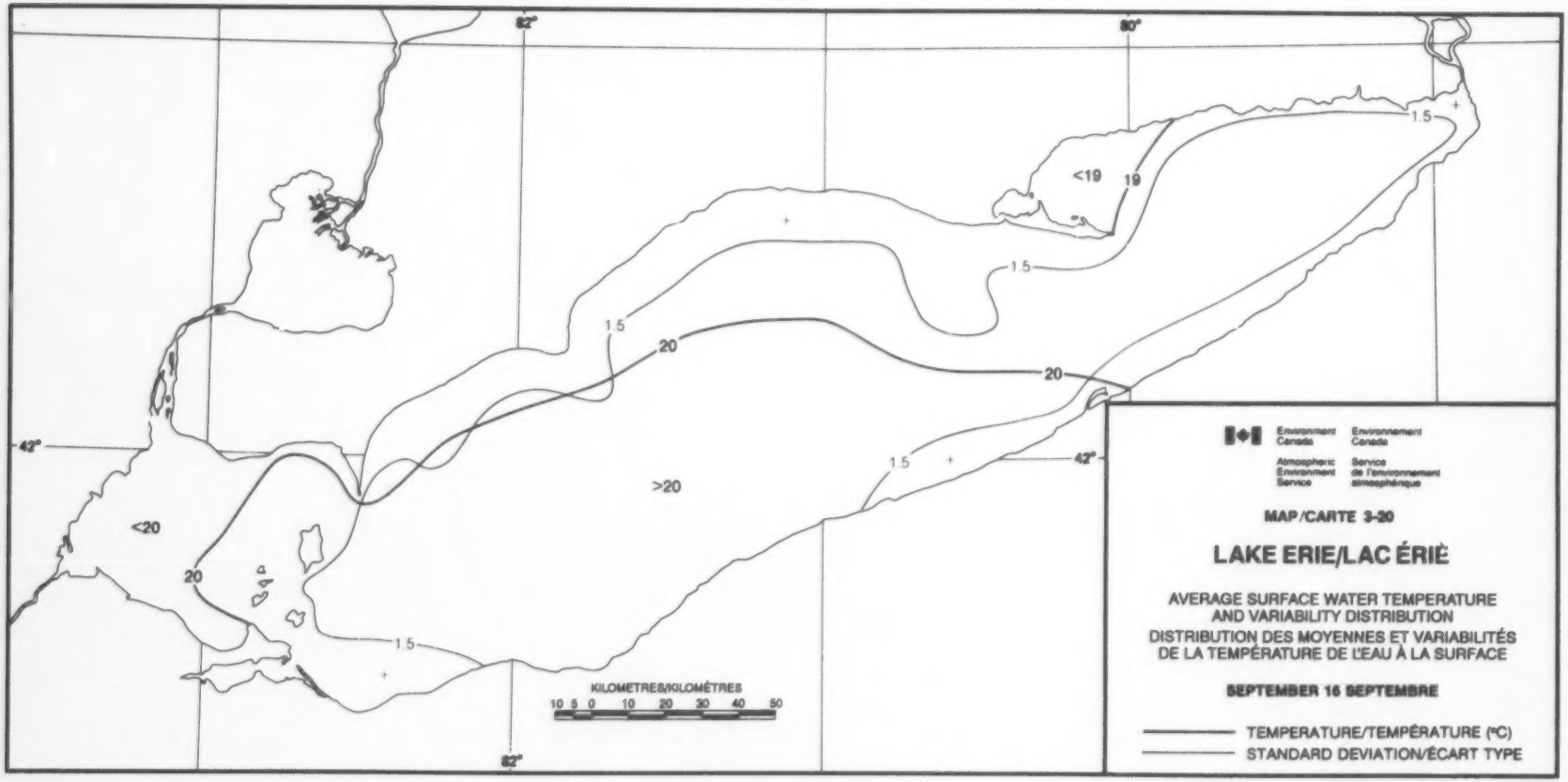
Carte 3-20 16 septembre

Bien que le gradient thermique soit faible dans l'épilimnion bien mélangé, le refroidissement des eaux peu profondes est indiqué par la température inférieure à 20 degrés dans le bassin ouest. La configuration de l'isoplète de 1,5 degré marque une variabilité un peu plus importante dans la zone littorale qui résulte du refroidissement nocturne et du réchauffement diurne.


82°
83°
42°
<22
22
1.5
2.0
23
24
>24
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-17
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
AUGUST 01 AOÛT
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


83°
80°
42°
42°
82°
<22
22
1.5
<22
22
1.5
23
23
2.0
2.0
24
2.0
>24
2.0
24
1.5
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-18
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
AUGUST 16 AOÛT
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


82°
80°
42°
<21
21
1.5
<22
22
20
>22
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-19
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
SEPTEMBER 01 SEPTEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


82°
80°
42°
<19
19
1.5
20
<20
>20
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-20
LAKE ERIE/LAC ÉRIE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
SEPTEMBER 16 SEPTEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE

Map 3-21 October 1

The lake as a whole has cooled down by about 2 degrees since mid-September. Accelerated surface cooling is producing strong convective mixing which, along with intensified wind-induced turbulence, penetrates into the bottom layers, bringing the water mass to a near-isothermal state [24]. Heat is lost uniformly from the well-mixed water mass and quite uniform surface temperature and variability are maintained.

Somewhat faster cooling of shallow waters is apparent in the western end of the lake and in Long Point bay. In the central basin, the 18-degree isotherm is retreating from the south shore and tending toward closure, portending the return to a depth-related surface temperature pattern.

Map 3-22 October 16

Due to faster cooling in shallower water, the surface temperature field is starting to organize into a closed-isotherm, depth-related pattern. A faster response of surface temperature to cooling and re-heating in shallow waters is indicated by the somewhat greater variability (1.5+ degrees) in the western basin and in near-shore areas.

Map 3-23 November 1

The surface temperature and variability field is very similar to that of mid-October: a depth-related isotherm pattern and larger temperature variability in shallow waters.

Map 3-24 November 16

An orderly, lake-wide cooling rate continues, maintaining the depth-related temperature pattern and the small variability range established in October.

Map 3-25 December 1

The fall overturn phase is nearing completion in the western basin. The depth-related isotherm pattern is well developed, with closed >8-degree temperature highs centred on the deepest regions of the central and eastern

Carte 3-21 1er octobre

Le lac en entier s'est refroidi d'environ 2 degrés depuis la mi-septembre. Sous l'effet d'un brassage de convection marqué, produit le refroidissement accéléré de la surface, et de l'intensification de la turbulence engendrée par le vent qui exercent leur influence de plus en plus profondément, la masse d'eau atteint un état quasi-isotherme [24]. La masse d'eau bien mélangée perd de la chaleur uniformément; la température de surface et la variabilité demeurent relativement uniformes.

Le refroidissement est légèrement plus rapide dans les eaux peu profondes de la portion ouest du lac et de la baie Pointe Longue. Dans le bassin central, l'isotherme de 18 degrés migre vers le sud et tend à se refermer, signe du retour d'une configuration thermique liée à la profondeur.

Carte 3-22 16 octobre

Vu le refroidissement plus rapide en eau peu profonde, le champ thermique commence à s'organiser en une configuration liée à la profondeur, qui se reflète par un isotherme fermé. Une réaction plus rapide de la température de surface au refroidissement et au réchauffement en eau peu profonde correspond à la variabilité légèrement plus forte (1,5+ degré) dans le bassin ouest et dans les zones littorales.

Carte 3-23 1er novembre

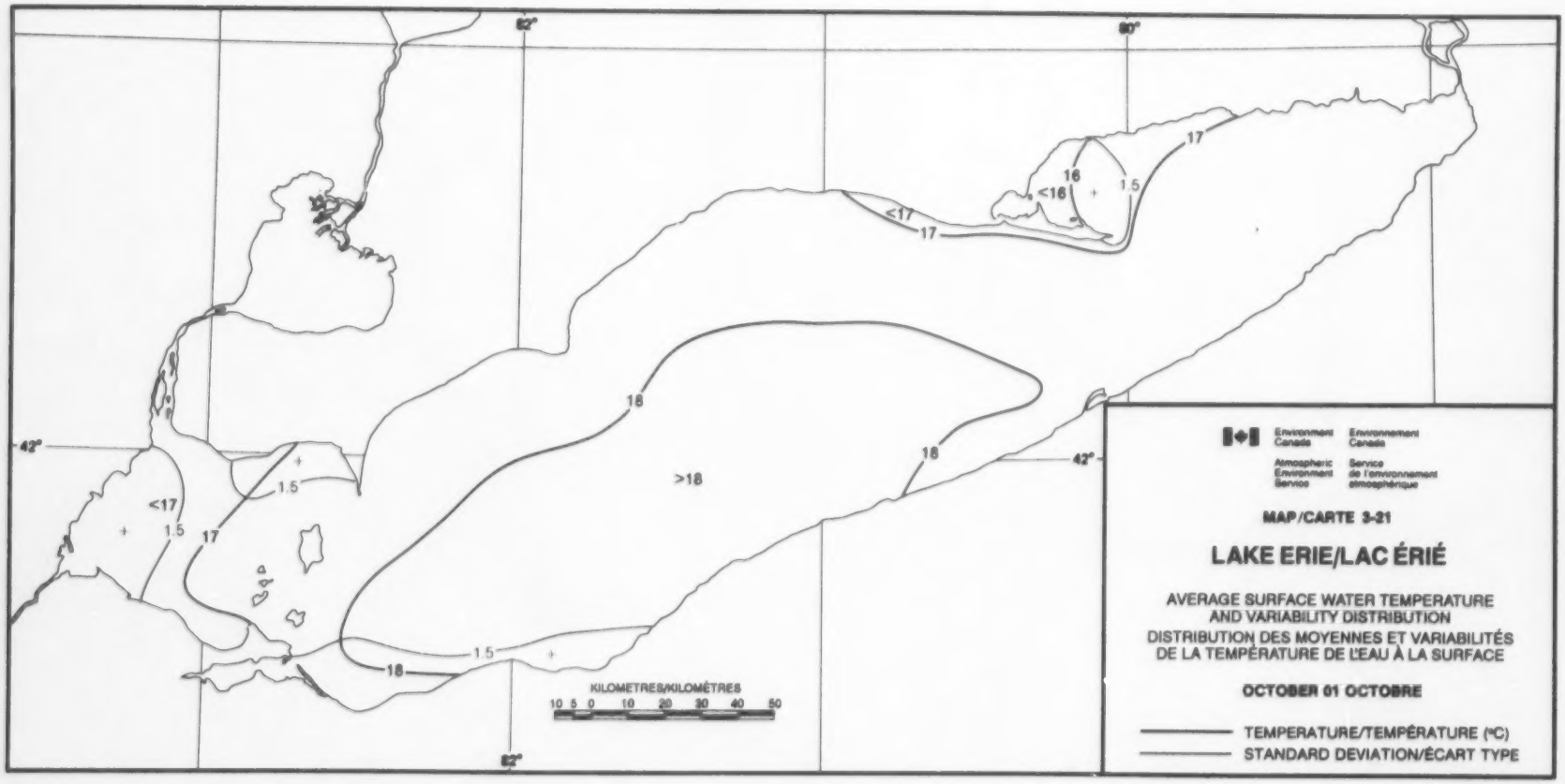
Le champ de températures de surface et de variabilité et très semblable à celui de la mi-octobre : isothermes liés à la profondeur et variabilité des températures plus importante en eaux peu profondes.

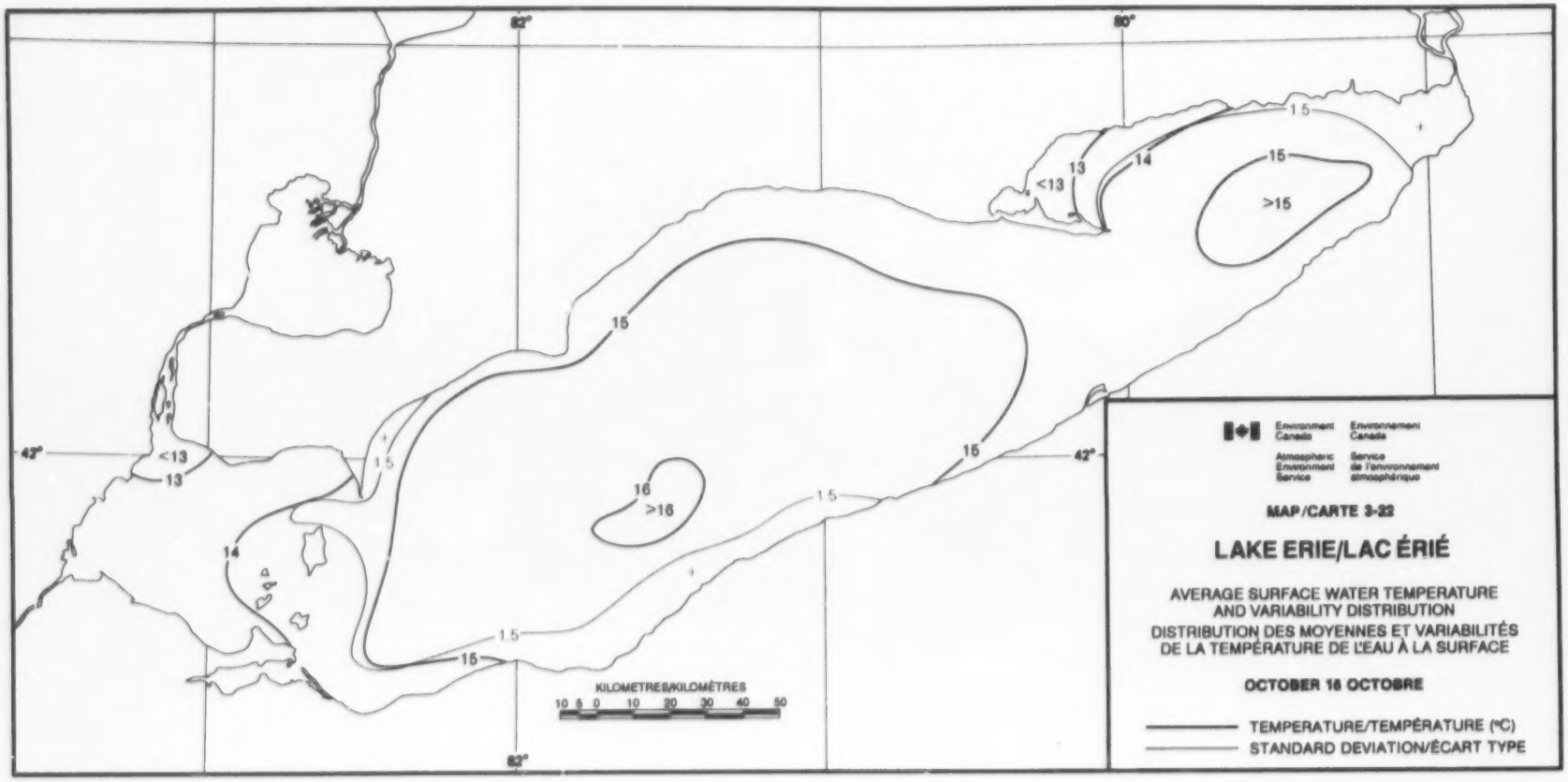
Carte 3-24 16 novembre

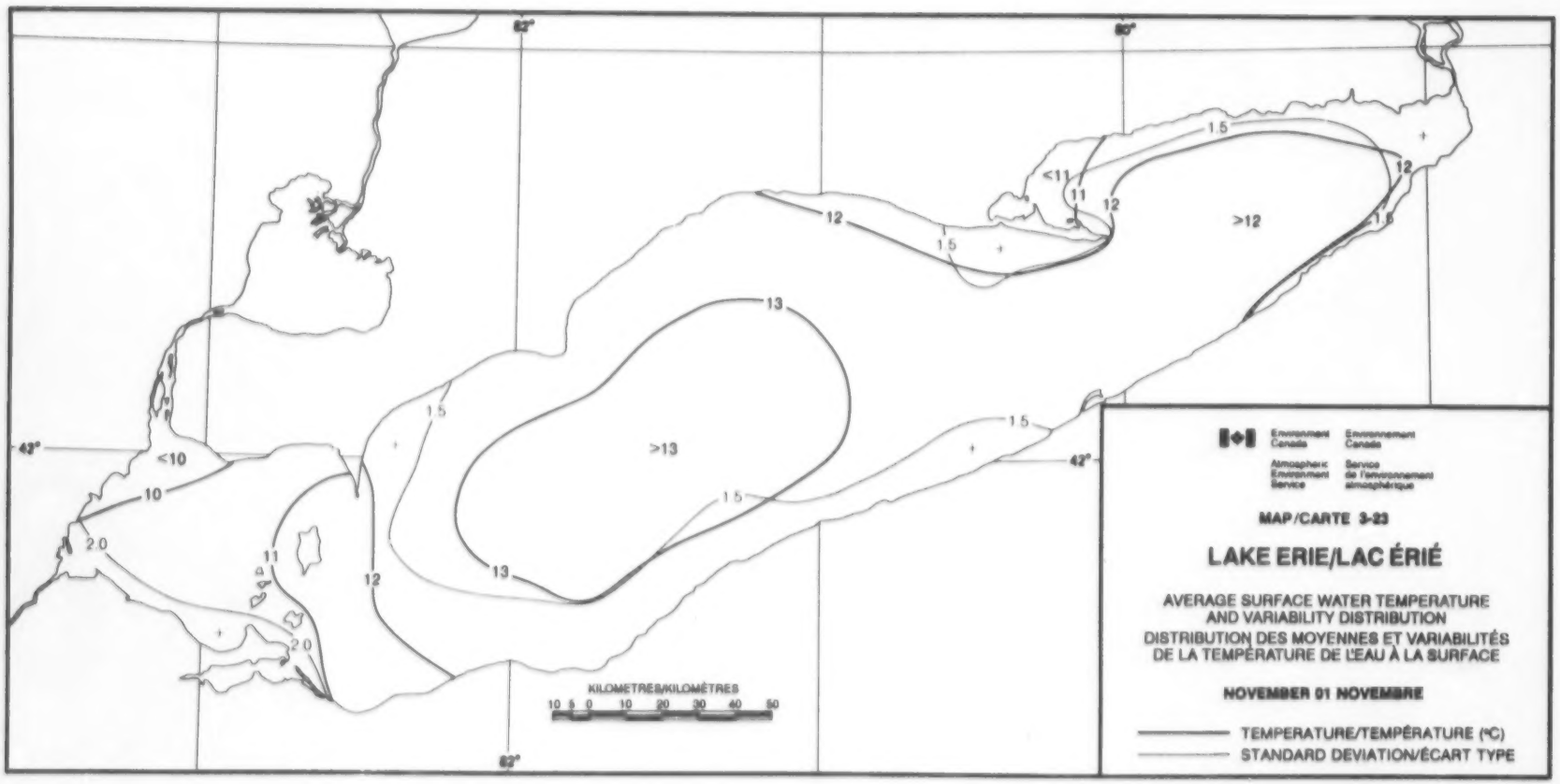
Le refroidissement de tout le lac se poursuit à un rythme régulier, la configuration thermique liée à la profondeur et la petite plage de variabilité établies en octobre, se maintiennent.

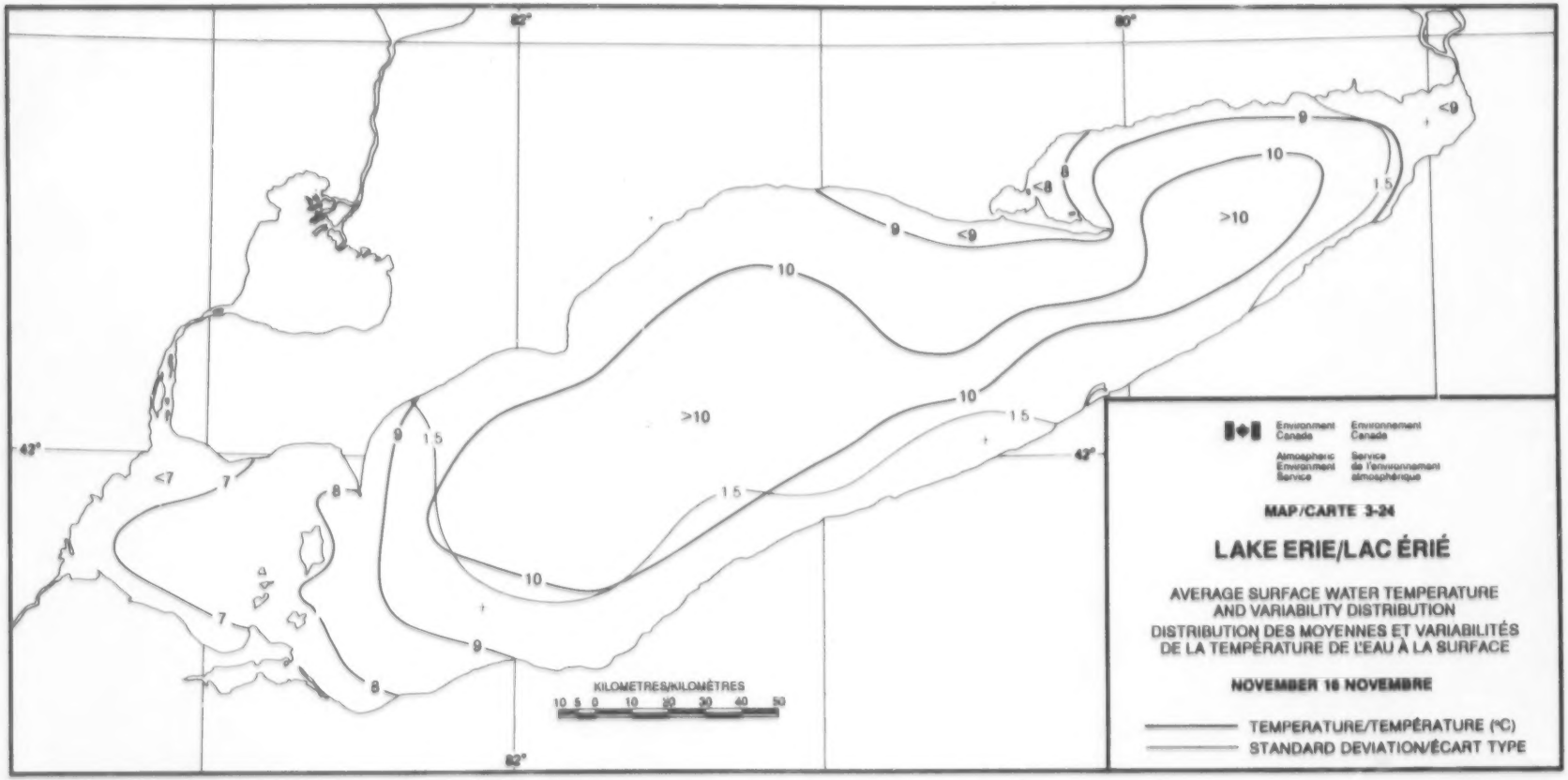
Carte 3-25 1er décembre

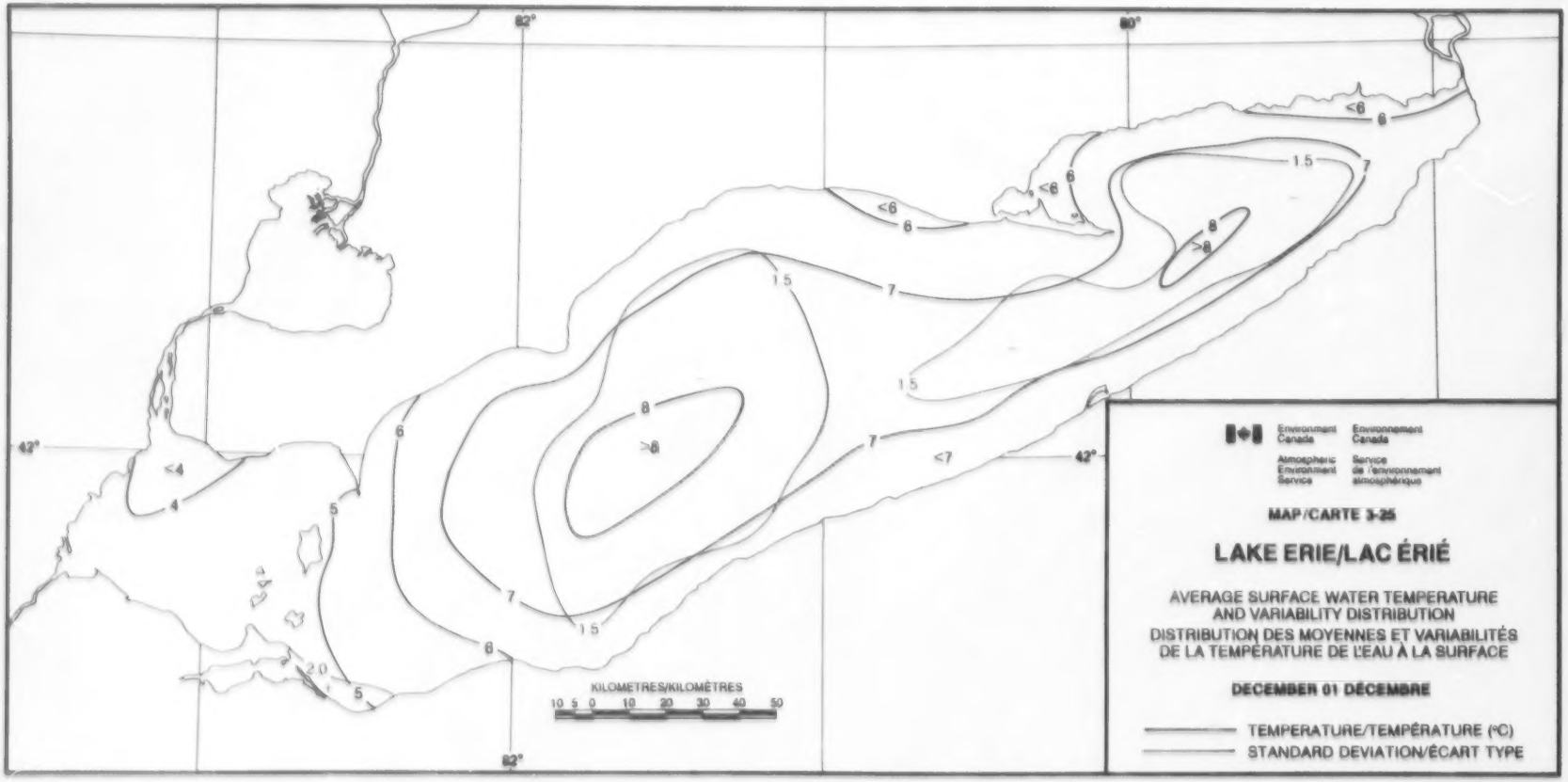
Le renversement automnal est presque achevé dans le bassin ouest. L'isotherme lié à la profondeur est bien développé; des maximums de température (isothermes fermés) >8 degrés sont centrés sur les régions les plus


82°
80°
42°
42°
82°
<17
17
1.5
16
<16
17
1.5
18
>18
18
1.5
18
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-21
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
OCTOBER 01 OCTOBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


82°
80°
42°
<13
13
14
15
16
>16
>15
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-22
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
OCTOBER 16 OCTOBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


82°
80°
43°
42°
<10
10
11
12
13
>13
>12
<11
1.5
2.0
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-23
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
NOVEMBER 01 NOVEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


82°
80°
42°
≤7
7
8
9
10
>10
1.5
≤8
≤9
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-24
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
NOVEMBER 16 NOVEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


82°
80°
42°
<4
4
5
6
7
8
>8
1.5
2.0
<6
<7
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-25
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
DECEMBER 01 DÉCEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE

basins. Variability lows (1.5- degrees) are similarly located over the deepest areas.

Map 3-26 December 16

Fall overturn is completed in the shallow western basin and in most of the near-shore zone, as indicated by the appearance of a nearly-closed 4-degree isotherm.

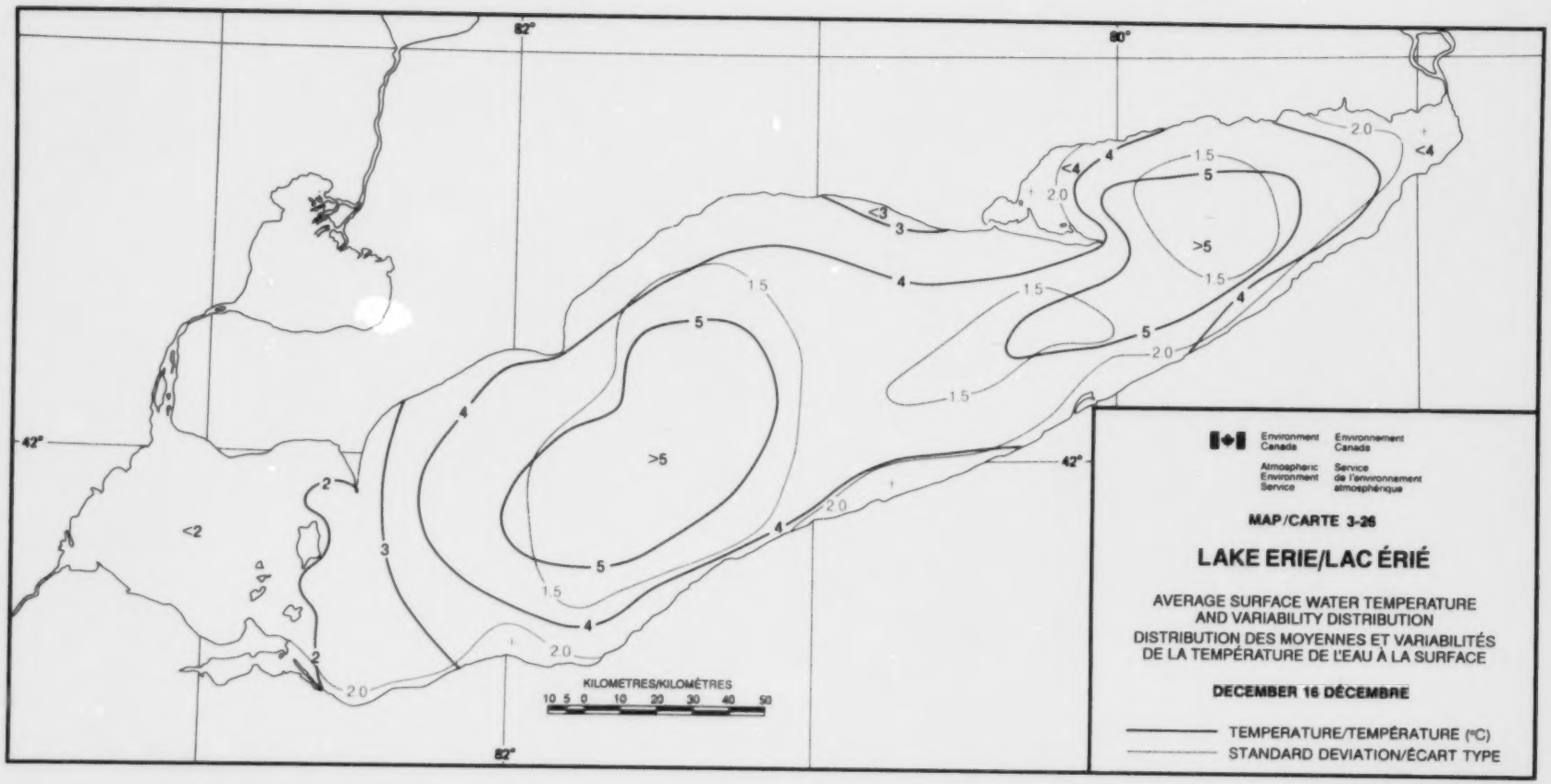
Cooling is frequently interrupted in the southern near-shore zone by impounding of warm water which is transported from the central region by westerly winds. This results in distinctly greater temperature variability (2.0+ degrees) along the southern shore. Possibility of early ice formation in the western basin is indicated by the 1.5 to 2.0 degree variability range in waters at less than 2 degree temperature.

profondes des bassins du centre et de l'est. Des minimums de variabilité (1,5-degré) sont de même situés au-dessus des régions les plus profondes.

Carte 3-26 16 décembre

Le renversement automnal est achevé dans le bassin ouest peu profond et dans la majeure partie de la zone littorale, comme le reflète l'isotherme de 4 degrés, presque fermé.

Le refroidissement est fréquemment interrompu dans la zone littorale du sud par l'arrivée d'eau chaude provenant de la région centrale sous l'effet du vent de l'ouest. Cela entraîne une variabilité des températures beaucoup plus importante (2,0+ degrés) le long de la rive sud. La possibilité que se forme précocement de la glace dans le bassin ouest est indiquée par la gamme de variabilités (1,5 à 2,0 degrés) dans les eaux dont la température est inférieure à 2 degrés.


82°
80°
42°
<2
2
3
4
5
>5
1.5
2.0
<3
<4
KILOMETRES/KILOMÉTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 3-26
LAKE ERIE/LAC ÉRIÉ
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
DECEMBER 16 DÉCEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE

SECTION 4

LAKE ONTARIO WATER TEMPERATURE REGIME

RÉGIME DES TEMPÉRATURES DE L'EAU DU LAC ONTARIO

4.1 Lake Ontario Annual Temperature Cycle

The Lake Ontario annual temperature cycle is defined in Table 4-1 and Figure 4-1.

The normal annual surface temperature range in Lake Ontario is from 1.0 to 20.7 degrees. The monthly mean temperature ranges from 1.1 degrees in February to 20.2 degrees in August.

The minimum temperature occurs in mid-February; in mild winters the minimum temperature remains at 1.6 to 1.7 degrees; in cold winters the minimum temperature can fall to 0.3 degrees in February.

The maximum surface temperature is reached in the second week of August; the peak temperature ranges from 19.0 to 22.4 degrees.

The largest normal variability in daily temperature occurs in June (standard deviation of 2.0 to 2.9 degrees), the smallest in March (standard deviation of 0.6 degrees).

4.1 Cycle annuel des températures du lac Ontario

Le cycle annuel des températures du lac Ontario est défini au tableau 4-1 et à la figure 4-1.

La plage annuelle normale des températures de surface du lac Ontario varie de 1,0 à 20,7 degrés. La gamme des températures mensuelles va de 1,1 degré en février à 20,2 degrés en août.

Les températures minimums sont enregistrées à la mi-février; lorsque les hivers sont doux, les températures minimales demeurent à 1,6 à 1,7 degré et lors d'hivers rigoureux, le minimum peut descendre à 0,3 degré en février.

La température de surface maximale est atteinte dans la deuxième semaine du mois d'août; les températures maximales varient entre 19,0 et 22,4 degrés.

La plus importante variabilité normale des températures quotidiennes se produit en juin (écart type de 2,0 à 2,9 degrés), la plus faible en mars (écart type de 0,6 degré).

TABLE 4-1
Lake Ontario Daily Mean Surface Water Temperature (Deg. C)

Day	Jan T[1]	Jan SD[2]	Feb T	Feb SD	Mar T	Mar SD	Apr T	Apr SD	May T	May SD	Jun T	Jun SD	Jul T	Jul SD	Aug T	Aug SD	Sep T	Sep SD	Oct T	Oct SD	Nov T	Nov SD	Dec T	Dec SD	Day
1	2.9	0.8	1.1	0.8	1.1	0.6	1.9	0.6	3.9	1.0	8.4	2.0	15.6	2.8	20.2	1.8	19.0	1.9	14.9	1.6	10.1	1.3	6.0	0.9	1
2	2.8	0.8	1.1	0.8	1.1	0.6	1.9	0.6	4.0	1.0	8.6	2.0	15.8	2.8	20.2	1.8	18.9	2.0	14.8	1.6	9.9	1.3	5.9	0.9	2
3	2.7	0.8	1.0	0.7	1.1	0.6	1.9	0.7	4.1	1.0	8.8	2.1	16.1	2.8	20.2	1.8	18.8	2.0	14.6	1.6	9.7	1.3	5.8	0.9	3
4	2.6	0.8	1.1	0.7	1.2	0.6	2.0	0.7	4.2	1.0	9.0	2.1	16.4	2.8	20.3	1.7	18.6	2.0	14.4	1.6	9.6	1.2	5.7	1.0	4
5	2.5	0.8	1.1	0.7	1.2	0.6	2.0	0.8	4.2	1.0	9.2	2.1	16.7	2.7	20.3	1.7	18.5	2.0	14.2	1.5	9.4	1.2	5.6	1.0	5
6	2.3	0.8	1.1	0.7	1.2	0.6	2.1	0.8	4.3	0.9	9.5	2.2	16.9	2.7	20.4	1.7	18.4	2.1	14.0	1.5	9.3	1.2	5.6	1.0	6
7	2.2	0.8	1.1	0.7	1.2	0.6	2.1	0.9	4.4	0.9	9.7	2.3	17.1	2.6	20.5	1.7	18.3	2.1	13.9	1.5	9.1	1.2	5.4	1.0	7
8	2.1	0.8	1.1	0.7	1.2	0.6	2.2	0.9	4.5	0.9	10.0	2.4	17.2	2.5	20.6	1.7	18.2	2.1	13.7	1.5	9.0	1.2	5.3	1.0	8
9	2.1	0.8	1.1	0.7	1.2	0.6	2.2	0.9	4.7	0.9	10.2	2.5	17.3	2.4	20.6	1.7	18.1	2.1	13.5	1.5	8.8	1.2	5.2	1.0	9
10	2.0	0.8	1.0	0.7	1.3	0.6	2.3	0.9	4.8	0.9	10.7	2.6	17.4	2.4	20.7	1.7	18.0	2.0	13.4	1.5	8.6	1.2	5.1	1.0	10
11	2.0	0.9	1.0	0.7	1.3	0.6	2.4	0.9	4.9	0.9	10.9	2.7	17.5	2.3	20.7	1.7	18.0	2.0	13.2	1.5	8.5	1.2	5.0	1.0	11
12	2.0	0.9	1.0	0.7	1.3	0.6	2.4	0.9	5.0	0.9	11.2	2.8	17.6	2.3	20.7	1.7	17.9	2.0	13.0	1.5	8.3	1.1	4.9	1.0	12
13	1.9	0.9	1.0	0.7	1.3	0.6	2.5	0.9	5.2	1.0	11.4	2.8	17.7	2.2	20.7	1.6	17.8	2.0	12.8	1.5	8.1	1.1	4.8	1.0	13
14	1.9	0.9	1.0	0.7	1.3	0.6	2.5	0.9	5.3	1.1	11.7	2.8	17.9	2.2	20.6	1.6	17.7	2.0	12.6	1.5	7.9	1.1	4.7	1.0	14
15	1.8	0.9	1.0	0.7	1.3	0.6	2.6	0.9	5.4	1.2	12.0	2.8	18.1	2.2	20.6	1.6	17.6	2.0	12.5	1.5	7.8	1.0	4.5	1.0	15
16	1.8	0.9	1.0	0.7	1.3	0.6	2.6	0.9	5.5	1.2	12.2	2.8	18.3	2.2	20.5	1.6	17.4	2.0	12.3	1.5	7.6	1.0	4.4	1.0	16
17	1.7	0.9	1.0	0.7	1.4	0.6	2.7	0.9	5.6	1.3	12.5	2.8	18.4	2.2	20.4	1.7	17.3	2.0	12.1	1.5	7.5	0.9	4.3	1.0	17
18	1.6	0.9	1.0	0.6	1.4	0.6	2.7	0.9	5.8	1.4	12.8	2.8	18.6	2.1	20.4	1.7	17.2	1.9	12.0	1.5	7.4	0.9	4.1	1.0	18
19	1.6	0.9	1.0	0.6	1.4	0.6	2.8	0.9	5.9	1.4	13.0	2.9	18.8	2.1	20.3	1.8	17.0	1.9	11.8	1.5	7.2	0.8	4.0	1.0	19
20	1.5	0.9	1.0	0.6	1.4	0.6	2.9	0.9	6.0	1.5	13.3	2.8	19.0	2.1	20.2	1.9	16.9	1.8	11.7	1.4	7.1	0.8	3.9	1.0	20
21	1.5	0.9	1.0	0.6	1.5	0.6	3.0	0.9	6.2	1.6	13.5	2.8	19.2	2.1	20.1	1.9	16.7	1.8	11.6	1.4	7.0	0.8	3.7	1.0	21
22	1.4	0.9	1.0	0.6	1.5	0.6	3.1	0.9	6.3	1.6	13.7	2.8	19.3	2.1	20.1	2.0	16.5	1.7	11.5	1.4	6.9	0.8	3.6	1.0	22
23	1.4	0.9	1.1	0.6	1.5	0.6	3.1	0.9	6.5	1.7	14.0	2.8	19.5	2.1	19.9	2.0	16.3	1.7	11.3	1.4	6.9	0.8	3.5	1.0	23
24	1.4	0.9	1.1	0.6	1.6	0.6	3.2	0.9	6.7	1.7	14.2	2.8	19.6	2.1	19.8	2.0	16.1	1.7	11.2	1.4	6.8	0.9	3.4	1.0	24
25	1.3	0.9	1.1	0.6	1.6	0.6	3.3	0.9	6.9	1.7	14.4	2.8	19.7	2.1	19.7	2.0	15.9	1.7	11.1	1.4	6.7	0.9	3.3	0.9	25
26	1.3	0.9	1.1	0.6	1.7	0.6	3.4	0.9	7.1	1.7	14.6	2.9	19.8	2.1	19.6	2.0	15.8	1.6	11.0	1.4	6.5	0.9	3.3	0.9	26
27	1.3	0.9	1.1	0.6	1.7	0.6	3.5	1.0	7.3	1.8	14.8	2.9	19.9	2.0	19.5	2.0	15.6	1.6	10.9	1.4	6.4	0.9	3.2	0.9	27
28	1.3	0.8	1.1	0.6	1.8	0.6	3.6	1.0	7.5	1.8	15.0	2.9	20.0	2.0	19.4	2.0	15.4	1.6	10.8	1.4	6.2	0.9	3.2	0.9	28
29	1.3	0.8			1.8	0.6	3.7	1.0	7.7	1.9	15.1	2.8	20.1	1.9	19.3	2.0	15.2	1.6	10.6	1.4	6.1	0.9	3.1	0.9	29
30	1.3	0.8			1.8	0.6	3.8	1.0	7.9	1.9	15.3	2.8	20.1	1.9	19.2	2.0	15.1	1.6	10.4	1.4	6.0	0.9	3.1	0.8	30
31	1.2	0.8			1.8	0.6			8.1	2.0			20.1	1.8	19.1	2.0			10.2	1.3			3.1	0.9	31
Mean	1.8	0.9	1.1	0.7	1.4	0.6	2.7	0.9	5.7	1.3	12.0	2.6	18.2	2.3	20.2	1.8	17.3	1.9	12.5	1.5	7.9	1.0	4.4	1.0	

[1] = Mean Temperature (Deg. C)
[2] = Standard Deviation of Mean Temperature (Deg. C)

TABLEAU 4-1
Températures quotidiennes moyennes des eaux de surface du lac Ontario (degrés C)

jour	janv. T[1]	janv. ÉT[2]	fév. T	fév. ÉT	mars T	mars ÉT	avr. T	avr. ÉT	mai T	mai ÉT	juin T	juin ÉT	juil. T	juil. ÉT	août T	août ÉT	sept. T	sept. ÉT	oct. T	oct. ÉT	nov. T	nov. ÉT	déc. T	déc. ÉT	jour
1	2,9	0,8	1,1	0,8	1,1	0,6	1,9	0,6	3,9	1,0	8,4	2,0	15,6	2,8	20,2	1,8	19,0	1,9	14,9	1,6	10,1	1,3	6,0	0,9	1
2	2,8	0,8	1,1	0,8	1,1	0,6	1,9	0,6	4,0	1,0	8,6	2,0	15,8	2,8	20,2	1,8	18,9	2,0	14,8	1,6	9,9	1,3	5,9	0,9	2
3	2,7	0,8	1,0	0,7	1,1	0,6	1,9	0,7	4,1	1,0	8,8	2,1	16,1	2,8	20,2	1,8	18,8	2,0	14,6	1,6	9,7	1,3	5,8	0,9	3
4	2,6	0,8	1,1	0,7	1,2	0,6	2,0	0,7	4,2	1,0	9,0	2,1	16,4	2,8	20,3	1,7	18,6	2,0	14,4	1,6	9,6	1,2	5,7	1,0	4
5	2,5	0,8	1,1	0,7	1,2	0,6	2,0	0,8	4,2	1,0	9,2	2,1	16,7	2,7	20,3	1,7	18,5	2,0	14,2	1,5	9,4	1,2	5,6	1,0	5
6	2,3	0,8	1,1	0,7	1,2	0,6	2,1	0,8	4,3	0,9	9,5	2,2	16,9	2,7	20,4	1,7	18,4	2,1	14,0	1,5	9,3	1,2	5,6	1,0	6
7	2,2	0,8	1,1	0,7	1,2	0,6	2,1	0,9	4,4	0,9	9,7	2,3	17,1	2,6	20,5	1,7	18,3	2,1	13,9	1,5	9,1	1,2	5,4	1,0	7
8	2,1	0,8	1,1	0,7	1,2	0,6	2,2	0,9	4,5	0,9	10,0	2,4	17,2	2,5	20,6	1,7	18,2	2,1	13,7	1,5	9,0	1,2	5,3	1,0	8
9	2,1	0,8	1,1	0,7	1,2	0,6	2,2	0,9	4,7	0,9	10,2	2,5	17,3	2,4	20,6	1,7	18,1	2,1	13,5	1,5	8,8	1,2	5,2	1,0	9
10	2,0	0,8	1,0	0,7	1,3	0,6	2,3	0,9	4,8	0,9	10,7	2,6	17,4	2,4	20,7	1,7	18,0	2,0	13,4	1,5	8,6	1,2	5,1	1,0	10
11	2,0	0,9	1,0	0,7	1,3	0,6	2,4	0,9	4,9	0,9	10,9	2,7	17,5	2,3	20,7	1,7	18,0	2,0	13,2	1,5	8,5	1,2	5,0	1,0	11
12	2,0	0,9	1,0	0,7	1,3	0,6	2,4	0,9	5,0	0,9	11,2	2,8	17,6	2,3	20,7	1,7	17,9	2,0	13,0	1,5	8,3	1,1	4,9	1,0	12
13	1,9	0,9	1,0	0,7	1,3	0,6	2,5	0,9	5,2	1,0	11,4	2,8	17,7	2,2	20,7	1,6	17,8	2,0	12,8	1,5	8,1	1,1	4,8	1,0	13
14	1,9	0,9	1,0	0,7	1,3	0,6	2,5	0,9	5,3	1,1	11,7	2,8	17,9	2,2	20,6	1,6	17,7	2,0	12,6	1,5	7,9	1,1	4,7	1,0	14
15	1,8	0,9	1,0	0,7	1,3	0,6	2,6	0,9	5,4	1,2	12,0	2,8	18,1	2,2	20,6	1,6	17,6	2,0	12,5	1,5	7,8	1,0	4,5	1,0	15
16	1,8	0,9	1,0	0,7	1,3	0,6	2,6	0,9	5,5	1,2	12,2	2,8	18,3	2,2	20,5	1,6	17,4	2,0	12,3	1,5	7,6	1,0	4,4	1,0	16
17	1,7	0,9	1,0	0,7	1,4	0,6	2,7	0,9	5,6	1,3	12,5	2,8	18,4	2,2	20,4	1,7	17,3	2,0	12,1	1,5	7,5	0,9	4,3	1,0	17
18	1,6	0,9	1,0	0,6	1,4	0,6	2,7	0,9	5,8	1,4	12,8	2,8	18,6	2,1	20,4	1,7	17,2	1,9	12,0	1,5	7,4	0,9	4,1	1,0	18
19	1,6	0,9	1,0	0,6	1,4	0,6	2,8	0,9	5,9	1,4	13,0	2,9	18,8	2,1	20,3	1,8	17,0	1,9	11,8	1,5	7,2	0,8	4,0	1,0	19
20	1,5	0,9	1,0	0,6	1,4	0,6	2,9	0,9	6,0	1,5	13,3	2,8	19,0	2,1	20,2	1,9	16,9	1,8	11,7	1,4	7,1	0,8	3,9	1,0	20
21	1,5	0,9	1,0	0,6	1,5	0,6	3,0	0,9	6,2	1,6	13,5	2,8	19,2	2,1	20,1	1,9	16,7	1,8	11,6	1,4	7,0	0,8	3,7	1,0	21
22	1,4	0,9	1,0	0,6	1,5	0,6	3,1	0,9	6,3	1,6	13,7	2,8	19,3	2,1	20,1	2,0	16,5	1,7	11,5	1,4	6,9	0,8	3,6	1,0	22
23	1,4	0,9	1,1	0,6	1,5	0,6	3,1	0,9	6,5	1,7	14,0	2,8	19,5	2,1	19,9	2,0	16,3	1,7	11,3	1,4	6,9	0,8	3,5	1,0	23
24	1,4	0,9	1,1	0,6	1,6	0,6	3,2	0,9	6,7	1,7	14,2	2,8	19,6	2,1	19,8	2,0	16,1	1,7	11,2	1,4	6,8	0,9	3,4	1,0	24
25	1,3	0,9	1,1	0,6	1,6	0,6	3,3	0,9	6,9	1,7	14,4	2,8	19,7	2,1	19,7	2,0	15,9	1,7	11,1	1,4	6,7	0,9	3,3	0,9	25
26	1,3	0,9	1,1	0,6	1,7	0,6	3,4	0,9	7,1	1,7	14,6	2,9	19,8	2,1	19,6	2,0	15,8	1,6	11,0	1,4	6,5	0,9	3,3	0,9	26
27	1,3	0,9	1,1	0,6	1,7	0,6	3,5	1,0	7,3	1,8	14,8	2,9	19,9	2,0	19,5	2,0	15,6	1,6	10,9	1,4	6,4	0,9	3,2	0,9	27
28	1,3	0,8	1,1	0,6	1,8	0,6	3,6	1,0	7,5	1,8	15,0	2,9	20,0	2,0	19,4	2,0	15,4	1,6	10,8	1,4	6,2	0,9	3,2	0,9	28
29	1,3	0,8			1,8	0,6	3,7	1,0	7,7	1,9	15,1	2,8	20,1	1,9	19,3	2,0	15,2	1,6	10,6	1,4	6,1	0,9	3,1	0,9	29
30	1,3	0,8			1,8	0,6	3,8	1,0	7,9	1,9	15,3	2,8	20,1	1,9	19,2	2,0	15,1	1,6	10,4	1,4	6,0	0,9	3,1	0,8	30
31	1,2	0,8			1,8	0,6			8,1	2,0			20,1	1,8	19,1	2,0			10,2	1,3			3,1	0,9	31
moyenne	1,8	0,9	1,1	0,7	1,4	0,6	2,7	0,9	5,7	1,3	12,0	2,6	18,2	2,3	20,2	1,8	17,3	1,9	12,5	1,5	7,9	1,0	4,4	1,0	

[1] = température moyenne (degré C)
[2] = écart type moyen (degré C)

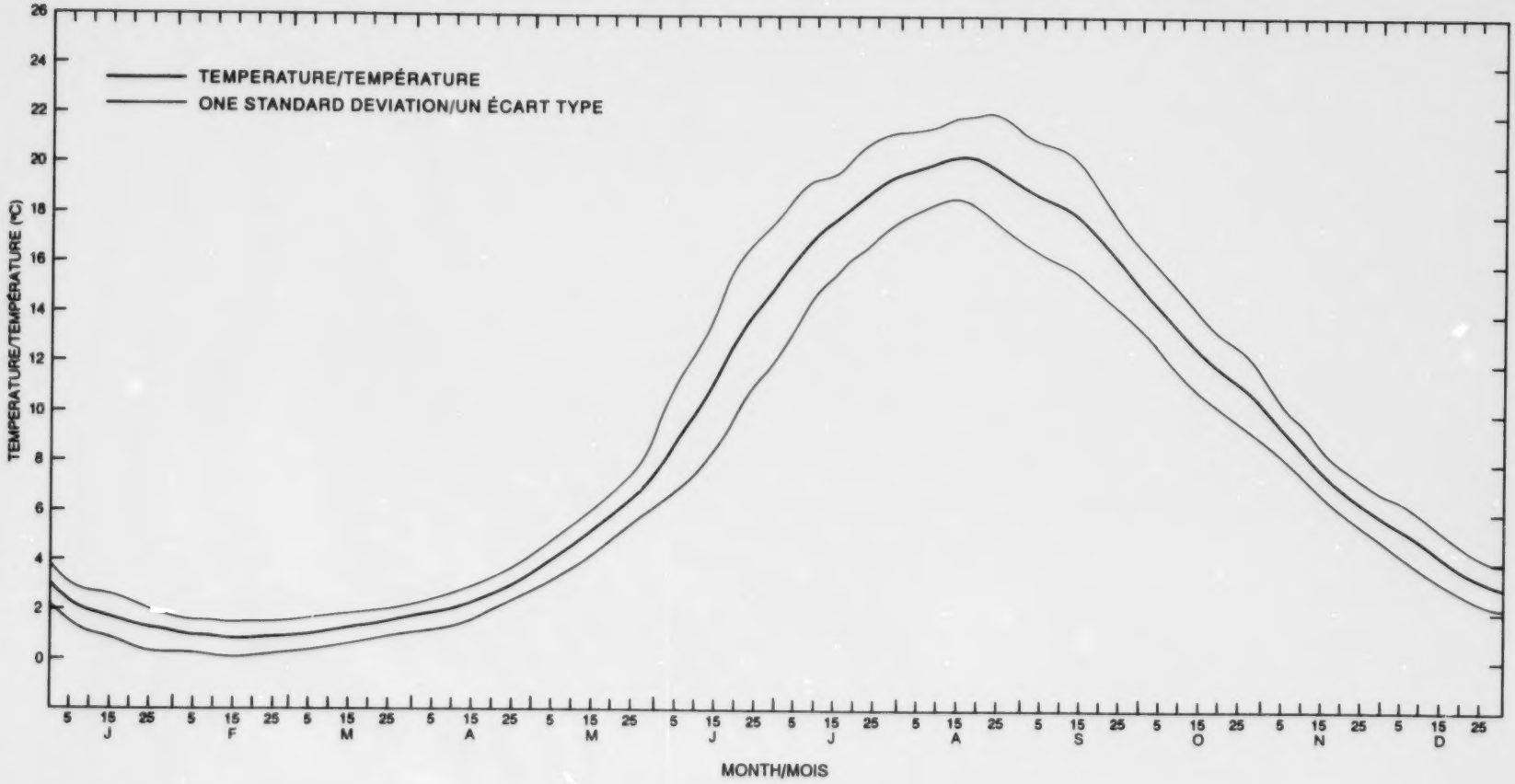


FIGURE 4-1 Lake Ontario annual surface water temperature curve

Courbe du cycle annuel des températures des eaux de surface du lac Ontario

4.2 Lake Ontario Surface Water Temperature Structure

Lake Ontario surface water temperature and temperature variability are discussed with reference to Maps 4-1 to 4-26. Lake Ontario grid point locations are shown on Map 4-1, lake depth on Map 4-2. Maps 4-3 to 4-26 show the beginning-of-month and middle-of-month surface water temperature and temperature variability structure. Brief remarks on the major structural features of the surface temperature and variability field of each map are given below.

Map 4-3 January 1

Lake Ontario is entering the winter stratification phase. The closed-isotherm surface water temperature pattern is strongly depth-related (compare with Map 4-2). Variability also conforms to depth; it is larger in the colder near-shore waters, where winter stratification is established and surface temperature is more susceptible to daily weather changes.

The 1.0+ variability along with the less than 1-degree temperature in the bays in the northeast basin indicate that ice can occur there at this time in cold winters.

Map 4-4 January 16

Winter stratification has developed throughout the lake. The temperature pattern conforms to depth. Variability is slightly greater in the warmer water.

A variability low (1.0-) occurs in the ice-bearing waters of the Niagara river outflow in the vicinity of GP53 (Map 4-1). Ice is also usually found in the shallower northeast basin in-shore from the 0.5-degree standard deviation isopleth.

Map 4-5 February 1

A depth-related pattern persists in the surface temperature field. The 1.0-degree standard deviation isopleth is nearly congruent with the 1-degree

4.2 Structure des températures des eaux de surface du lac Ontario

Nous traiterons de la température des eaux de surface du lac Ontario et de la variabilité de ces températures en nous reportant aux cartes 4-1 à 4-26. Les emplacements de points de grille du lac Ontario sont illustrés à la carte 4-1, et la carte 4-2 illustre la bathymétrie du lac. Les cartes 4-3 à 4-26 illustrent la structure des températures des eaux de surface et de la variabilité des températures au début et au milieu de chaque mois. Nous présentons ci-dessous de brèves remarques sur les principales caractéristiques de la structure du champ de températures de surface et de variabilité pour chacune des cartes.

Carte 4-3 1er janvier

Le lac Ontario entre dans la période de la stratification hivernale. La configuration des températures des eaux de surface, marquée par un isotherme fermé est fortement liée à la profondeur (comparer avec la carte 4-2). La variabilité est aussi conforme à la profondeur; plus importante dans les eaux littorales plus froides où la stratification hivernale est établie et où les températures de surface sont plus sensibles aux changements météorologiques quotidiens.

La variabilité de 1,0+ et la température inférieure à 1 degré dans les baies du bassin nord-est montrent que de la glace peut être présente à cette période, lors d'hivers rigoureux.

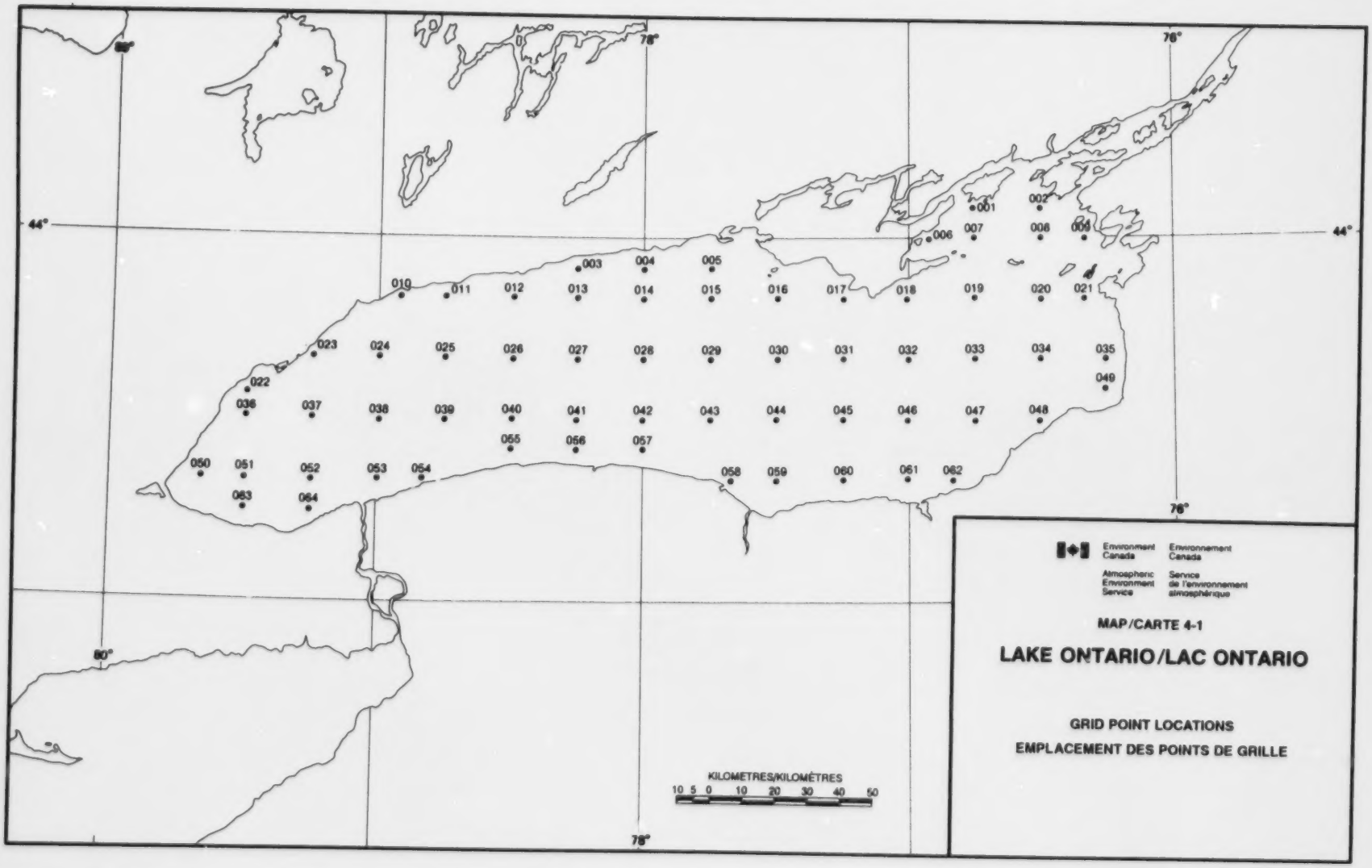
Carte 4-4 16 janvier

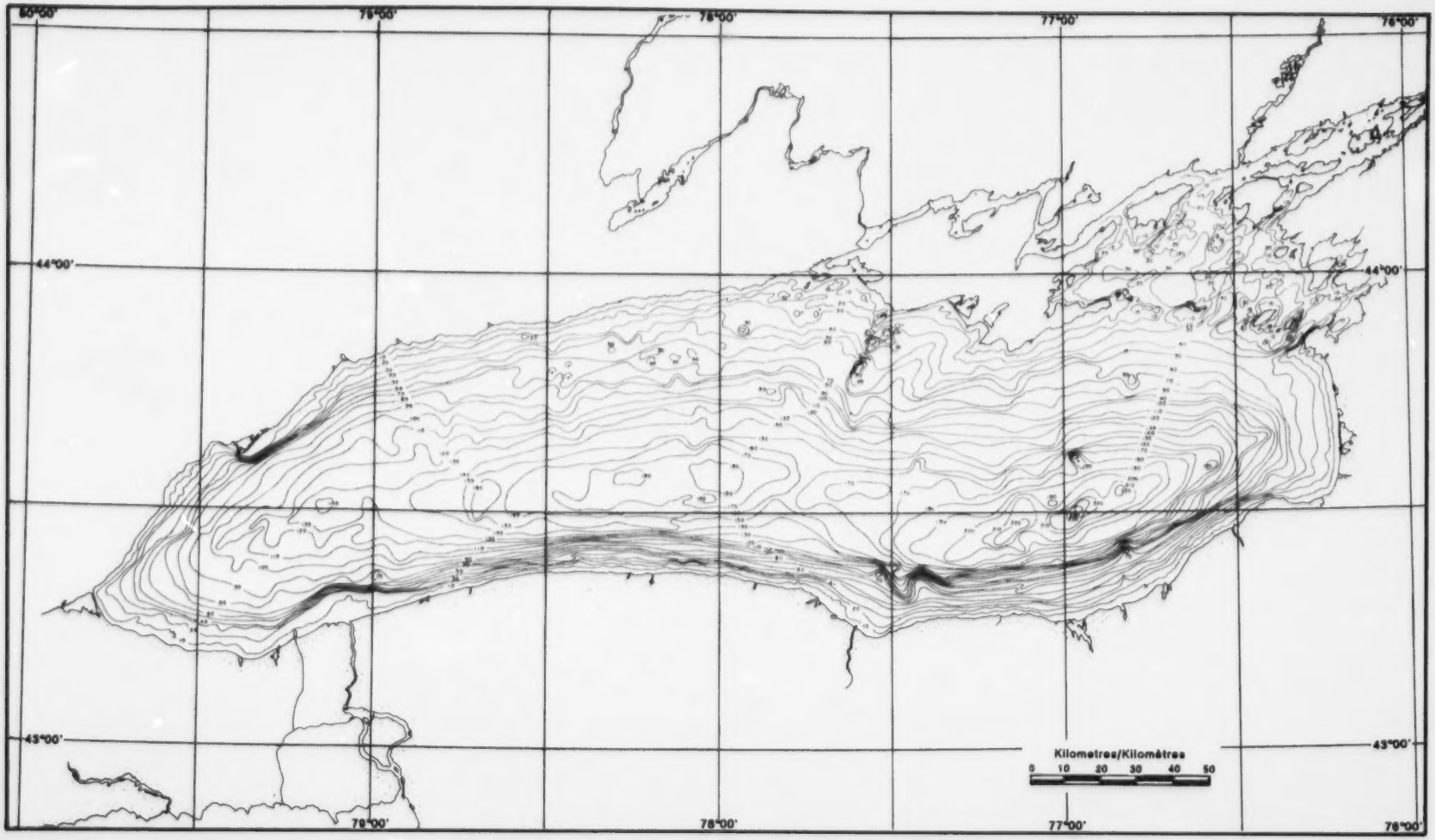
La stratification hivernale s'est développée dans tout le lac. Le régime des températures est conforme à la profondeur. La variabilité est légèrement plus marquée dans les eaux plus chaudes.

Il se produit un minimum de variabilité (1,0-) dans les eaux glacées de la rivière Niagara près de PG53 (carte 4-1). On observe aussi généralement de la glace dans le bassin nord-est moins profond, côté rive de l'isoplète de 0,5- degré.

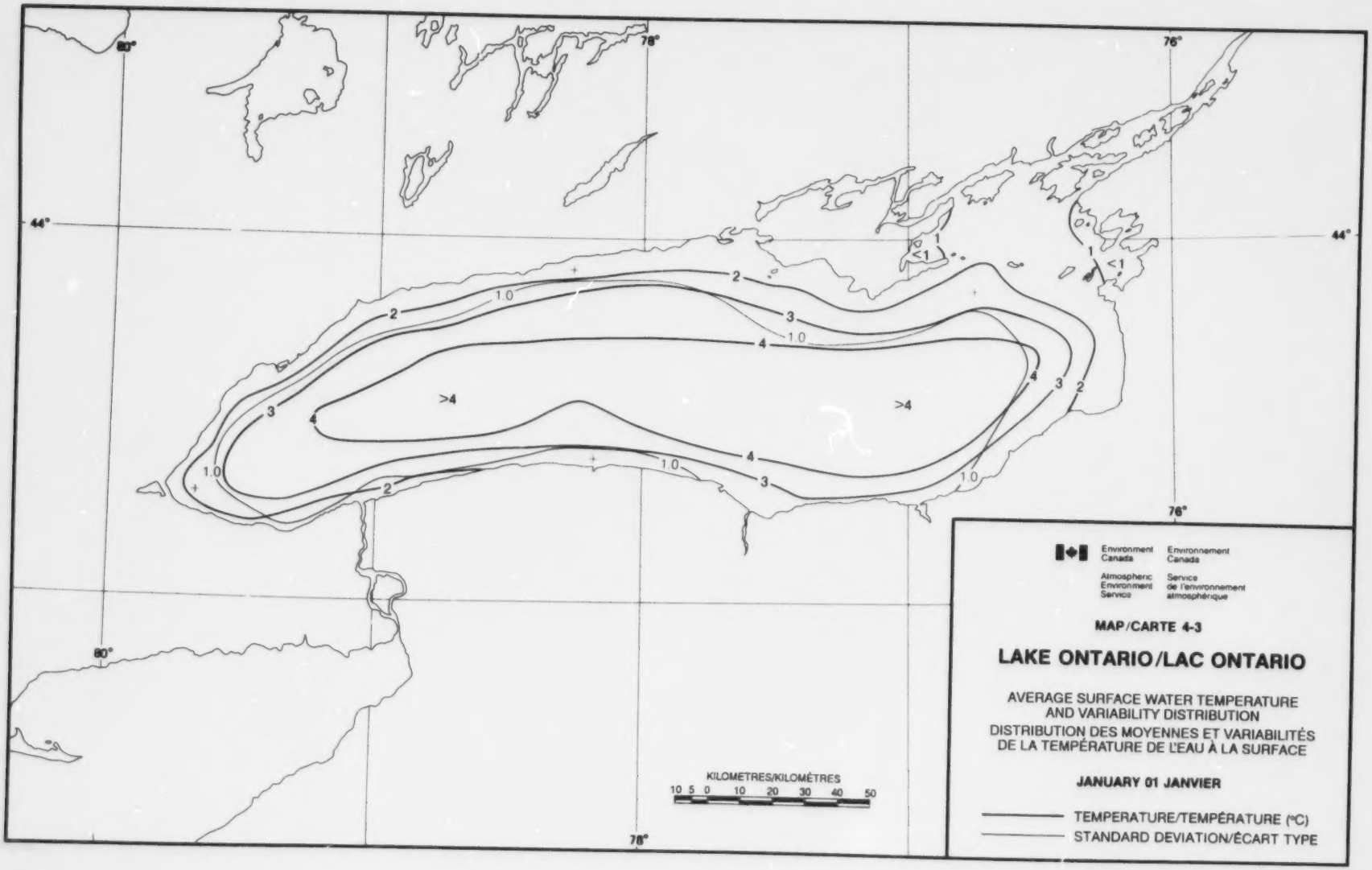
Carte 4-5 1er février

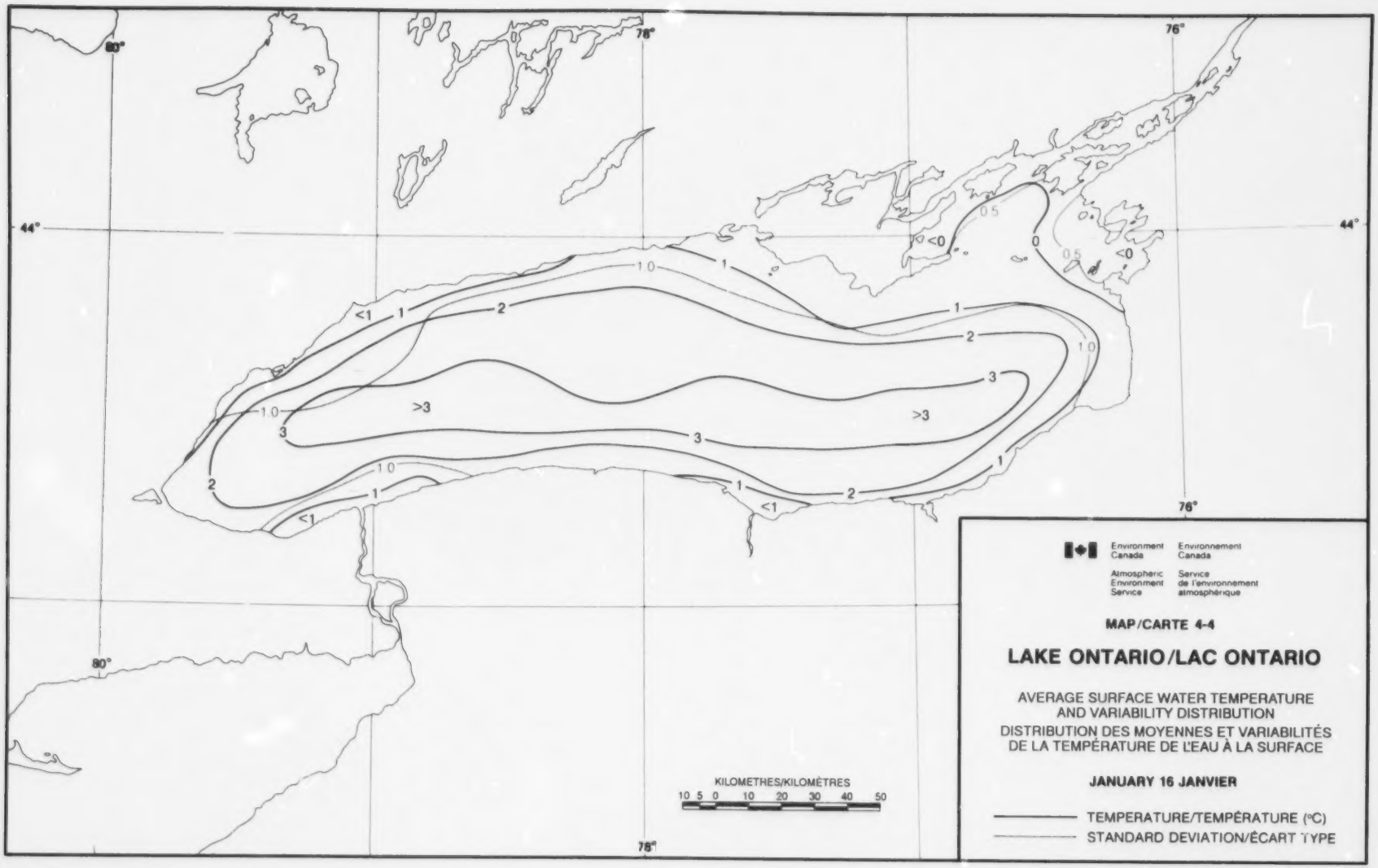
Une configuration liée à la profondeur persiste dans le champ des températures de surface. L'isoplète de 1,0- degré d'écart type correspond à

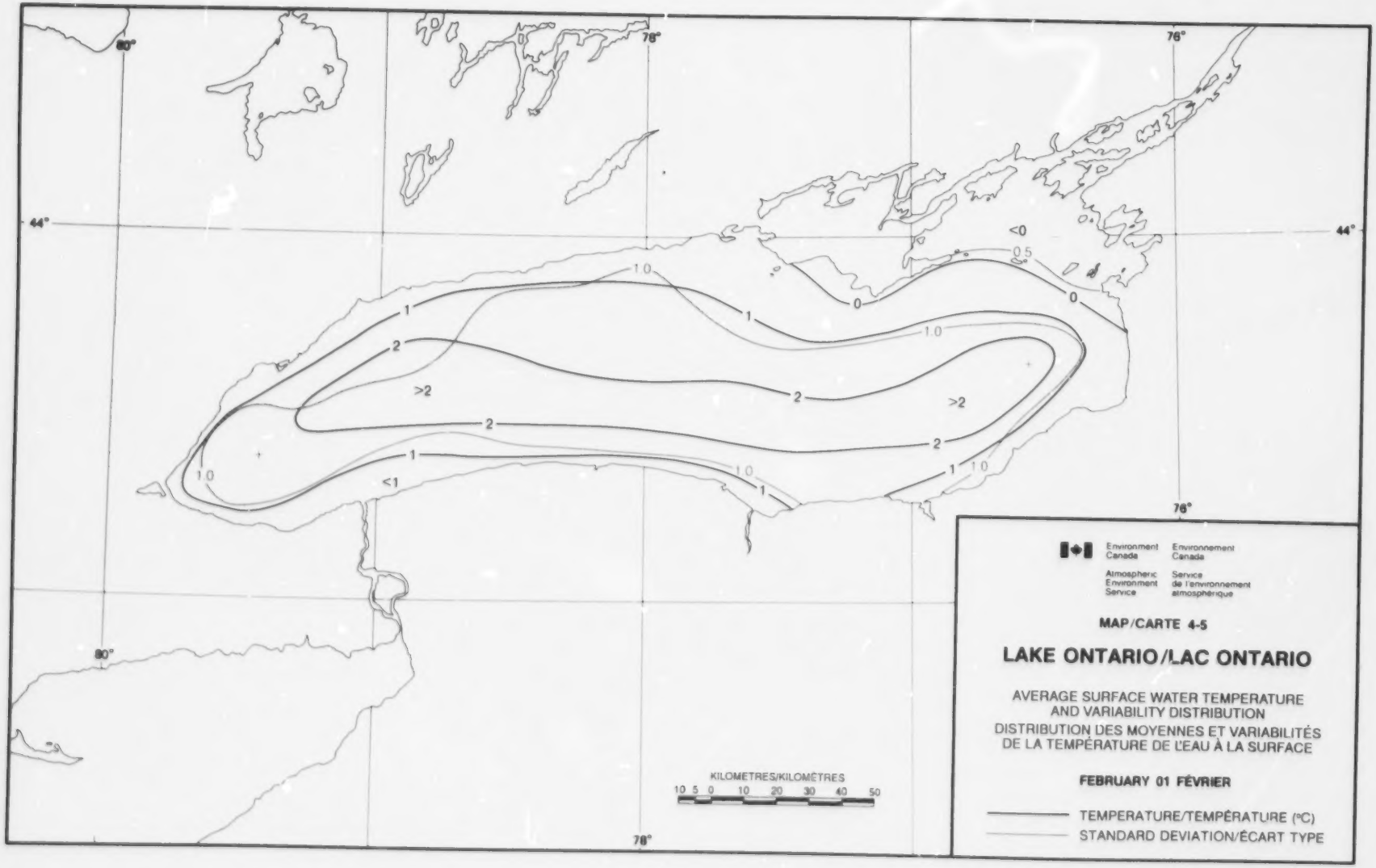

80°
78°
76°
44°
001
002
003
004
005
006
007
008
009
010
011
012
013
014
015
016
017
018
019
020
021
022
023
024
025
026
027
028
029
030
031
032
033
034
035
036
037
038
039
040
041
042
043
044
045
046
047
048
049
050
051
052
053
054
055
056
057
058
059
060
061
062
063
064
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-1
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
GRID POINT LOCATIONS
EMPLACEMENT DES POINTS DE GRILLE



MAP/CARTE 4-2 LAKE ONTARIO BATHYMETRY/
LAC ONTARIO BATHYMÉTRIE


82°
78°
76°
44°
80°
1.0
2
3
4
>4
<1
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-3
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JANUARY 01 JANVIER
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


80°
78°
76°
44°
<1
1
2
1.0
>3
3
0.5
<0
0
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-4
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JANUARY 16 JANVIER
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


80°
78°
76°
44°
<0
0.5
0
1.0
1
2
>2
<1
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-5
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
FEBRUARY 01 FÉVRIER
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE

isotherm in most areas of the lake, meaning that a surface temperature range of 0 to 1 degrees, with associated variability of between 0.5 and 1.0 degrees, is found in most of the near-shore zone. This configuration implies that ice can occur in the near-shore zone out to as far as the 1-degree isotherm under quite normal winter conditions. In cold winters, ice can at times be found in most of the lake, except for the area bounded by the 2-degree isotherm where ice occurs infrequently. Conversely, most of the lake can be ice-free in mild winters.

The nearly coincident 0.5-degree standard deviation isopleth and 0-degree isotherm in the northeast basin delineate the normal position of the ice edge at this time in the winter season.

Map 4-6 February 15

Mid-February is the time of maximum ice cover and minimum water temperature. Only two small lenses of water warmer than 2 degrees remain in the deeper areas of the lake. Significant ice concentrations can occur in the eastern and northeastern regions, inshore from the 0-degree isotherm. However, fast ice cover is normally found only in the northeast basin behind the 0.5-degree standard deviation isopleth.

Overall, the surface temperature and the temperature variability have a similar range of 1.0+/- degrees. This indicates that most of the lake surface can at times be near the freezing point during outbreaks of cold weather. However, this situation is unlikely to prevail for very long, due to the constant availability of heat from the sub-surface waters of this deep lake.

Map 4-7 March 1

The 0-degree isotherm has retreated from its mid-February position (Map 4-6), signalling the start of the ice melt period. Transport of ice into the lake by the Niagara river is indicated by the less than 1-degree temperature in the plume region (GP53). A smaller ice-bearing area is found at the inflow of the Genesee river, in the vicinity of GP58.

Wind-driven transport of broken ice and daytime melting and nighttime re-freezing in the near-shore shallow waters keep the lake-wide surface temperature within a narrow range of 1+/- degrees. Variability is likewise

peu près à l'isotherme de 1- degré dans la majeure partie du lac, ce qui veut dire qu'on observe à peu près partout dans la zone littorale une température de surface qui varie de 0 à 1 degré et une variabilité de 0,5 à 1,0 degré. Cette configuration reflète le fait que de la glace peut se former dans la zone littorale aussi loin que l'isotherme de 1 degré, même par un hiver tout à fait normal. Lorsque les hivers sont rigoureux, de la glace s'observe parfois partout sur le lac, mis à part dans la zone limitée par l'isotherme de 2 degrés où la présence de glace est rare. En outre, les hivers doux, la majeure partie du lac peut être libre de glace.

L'isoplète de 0,5- degré et l'isotherme de 0 degré, qui coïncident presque dans le bassin nord-est, délimitent la position normale de la bordure de la glace à cette époque de l'année.

Carte 4-6 15 février

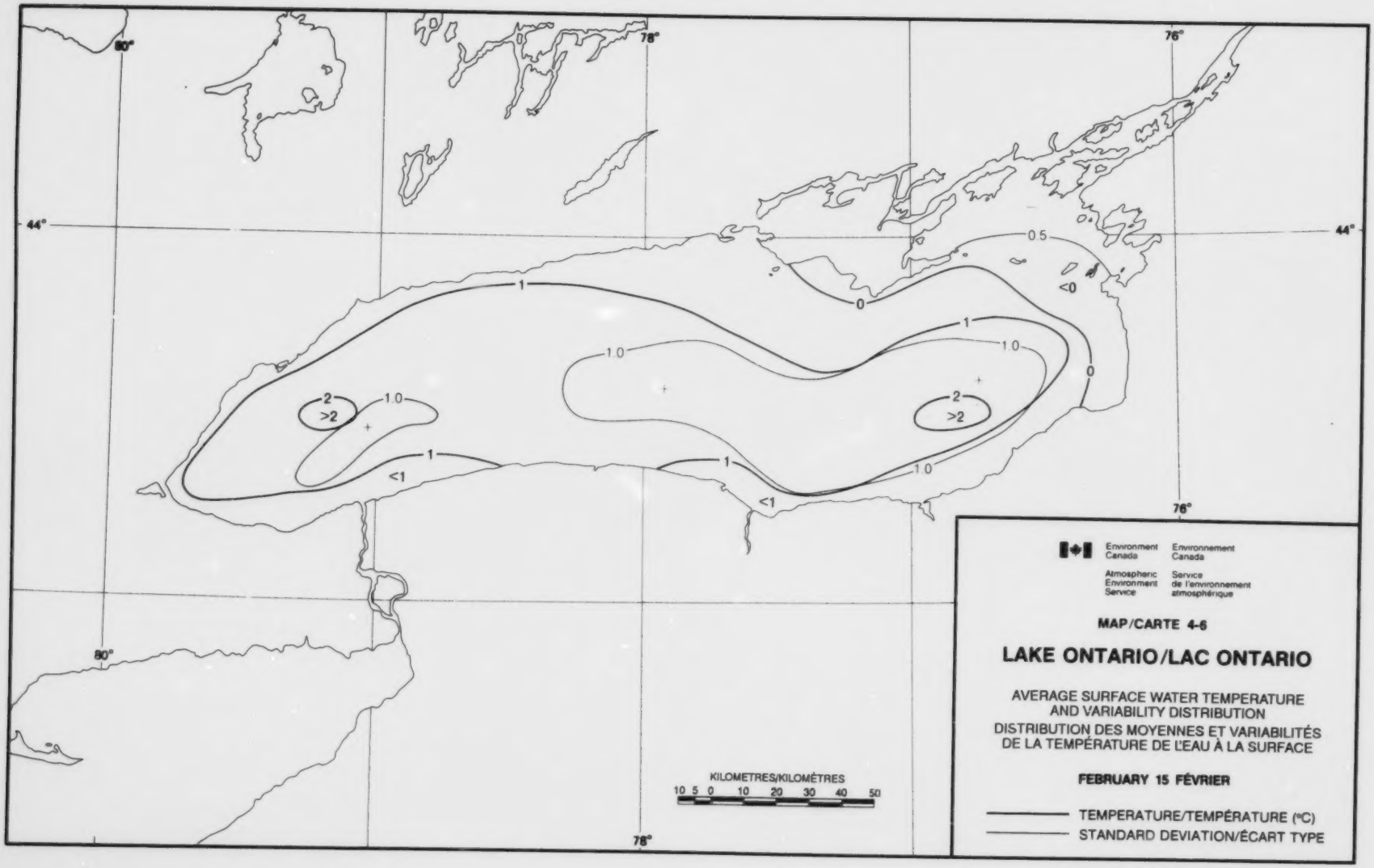
La mi-février marque le moment où la couverture de glace est maximale et les températures de l'eau minimales. Seuls deux petites lentilles où la température de l'eau est supérieure à 2 degrés demeurent dans les zones les plus profondes du lac. On peut observer des concentrations importantes de glace dans les régions est et nord-est, côté rive de l'isotherme de 0 degré. La banquise côtière ne s'observe généralement que dans le bassin nord-est, derrière l'isoplète de 0,5 degré d'écart type.

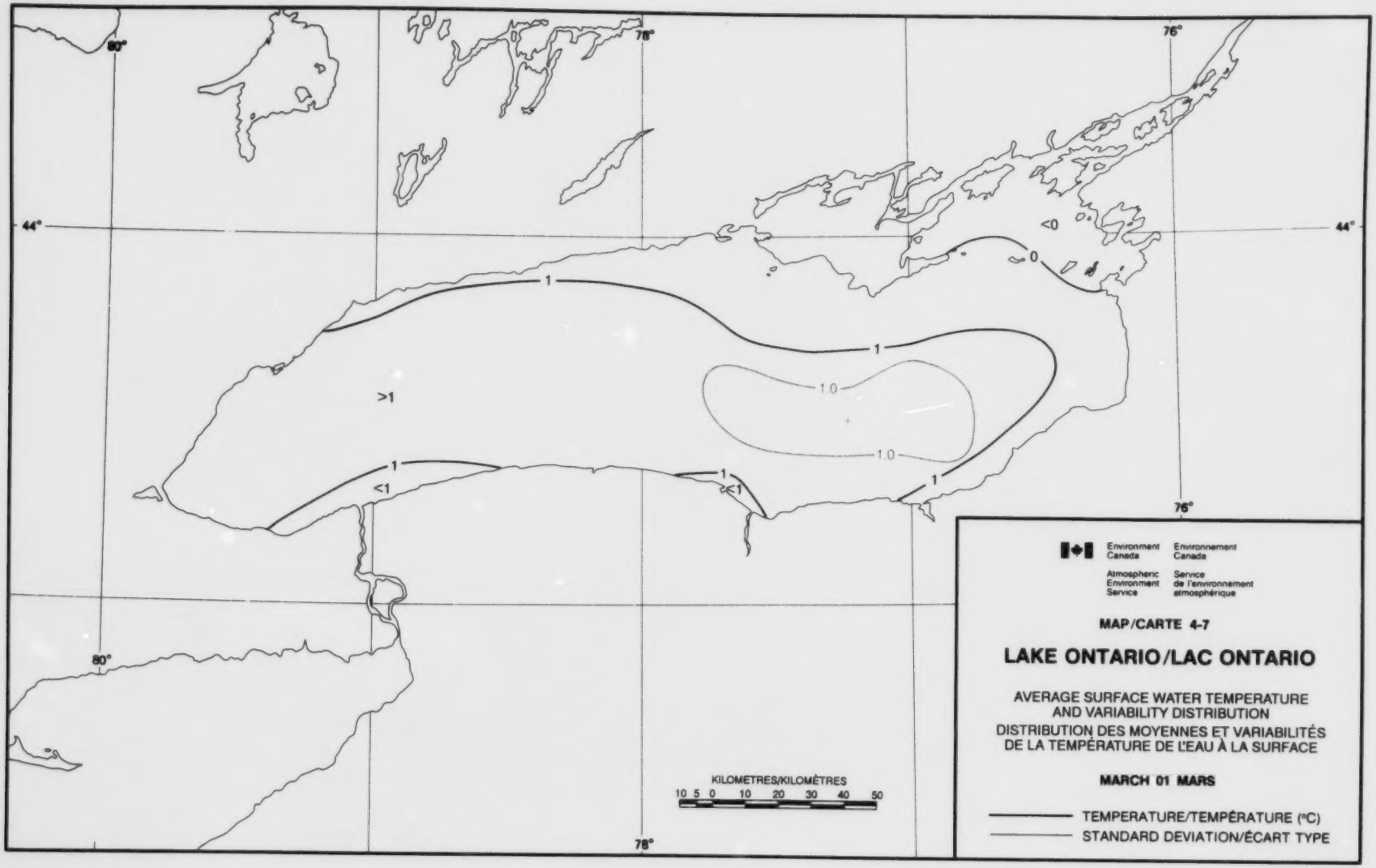
Globalement, la température de surface et la variabilité des températures ont une plage semblable (1,0+/- degré). Cela révèle que la majeure partie de la surface du lac peut par temps froid atteindre presque le point de congélation. Il est peu probable que cette situation se prolonge vu la disponibilité constante de chaleur dans les eaux subsuperficielles de ce lac profond.

Carte 4-7 1er mars

L'isotherme de 0 degré a reculé par rapport à la position qu'il occupait à la mi-février (carte 4-6), signal du début de la période de fonte des glaces. L'apport de glace dans le lac par la rivière Niagara est marqué par la température inférieure à 1 degré dans la région de l'écoulement (PG53). Une plus petite zone glacée s'observe à l'embouchure de la rivière Genesee, proche de PG58.

Sous l'effet du transport par le vent de glace brisée et de la fonte diurne et du regel nocturne dans les eaux peu profondes du littoral, la température de surface de tout le lac varie peu (1+/- degré). De même, la variabilité est confinée


80°
78°
76°
44°
0.5
<0
1
0
1.0
2
>2
<1
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-6
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
FEBRUARY 15 FÉVRIER
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


80°
78°
76°
44°
<0
0
1
1
1.0
1.0
>1
1
<1
1
<1
1
80°
76°
78°
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-7
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
MARCH 01 MARS
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE

confined to a range of 0.5 to 1.0 degrees, except for a high (1.0+) centered on GP45 in the deepest region of the lake. The similar temperature and variability ranges indicate that during periods of cold weather the surface temperature can be near freezing even in the deepest regions of the lake and ice can form in the shallower near-shore zones. On the other hand, the lake can be practically ice-free, if the spring season is advanced.

Map 4-8 March 16

As a result of the thawing, re-freezing and mixing processes already noted in the discussion of Map 4-7, a very uniform surface temperature and variability field is produced toward the end of the ice melt period. Aside from the coincidence of a 1.0+ variability high with the deepest region of the lake, the temperature-to-depth relationship is completely erased from the surface temperature pattern.

Normally, ice is found only in the sheltered bays in the east end of the lake. The similar temperature and variability ranges indicate that the surface temperature can remain near freezing lake-wide during periods of cold weather.

Map 4-9 April 1

The temperature has increased lake-wide by only 0.5 degrees since mid-March. Surface temperature gradients are very small and appear unorganized. The somewhat warmer surface water in the western third of the lake may be caused by upwelling under the prevailing westerly winds. The slightly warmer water along the southeastern shore is probably due to warming surface water being transported to, and impounded in this region under the prevailing westerly winds. The <2-degree temperature in the near-shore zone eastward from the Niagara river indicates the course of the river plume which carries broken ice from Lake Erie.

Variability is very uniform throughout. The 1.0+ variability high at the mouth of the Niagara river is due to larger temperature fluctuations in the river plume. The other variability high (1.0+) occurs in the shallow and sheltered east end waters where surface temperature is more responsive to changing weather conditions.

à une fourchette qui va de 0,5 à 1,0 degré, mis à part un maximum (1,0+) centré sur le PG45 dans la portion la plus profonde du lac. Des gammes semblables pour la température et la variabilité montrent, qu'au cours de périodes de froid intense, les températures de surface peuvent être proches du point de congélation même dans les régions les plus profondes du lac et que de la glace peut se former dans les eaux littorales moins profondes. D'autre part, le lac peut être complètement libre de glace, si le printemps est hâtif.

Carte 4-8 16 mars

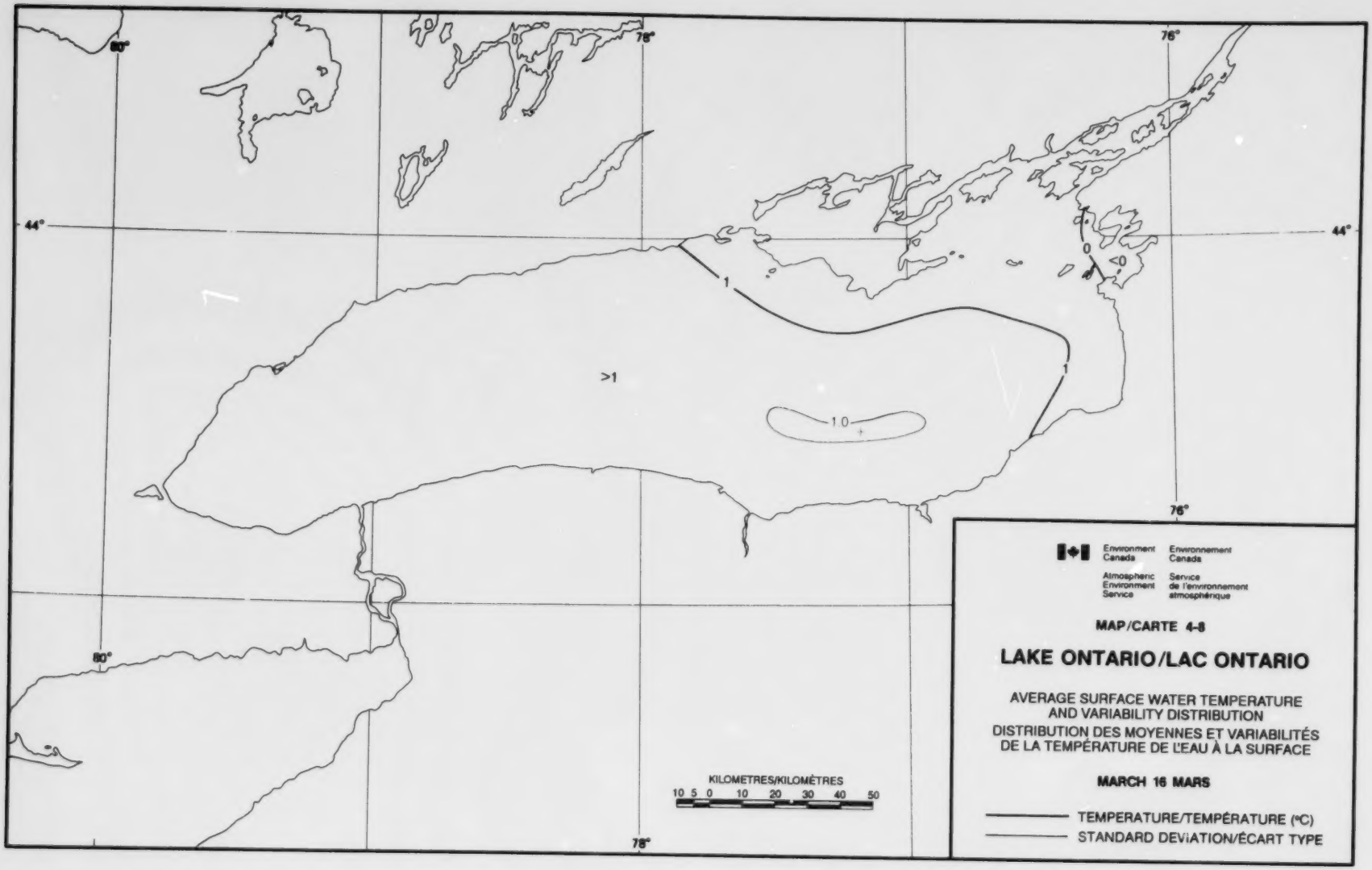
Suite au dégel, au regel et au processus de mélange dont nous venons de parler, un champ très uniforme de températures de surface et de variabilité s'observe vers la fin de la période de fonte des glaces. Mise à part la concordance entre un maximum de variabilité de 1,0+ et la région la plus profonde du lac, le rapport température/profondeur est complètement disparu du régime des températures de surface.

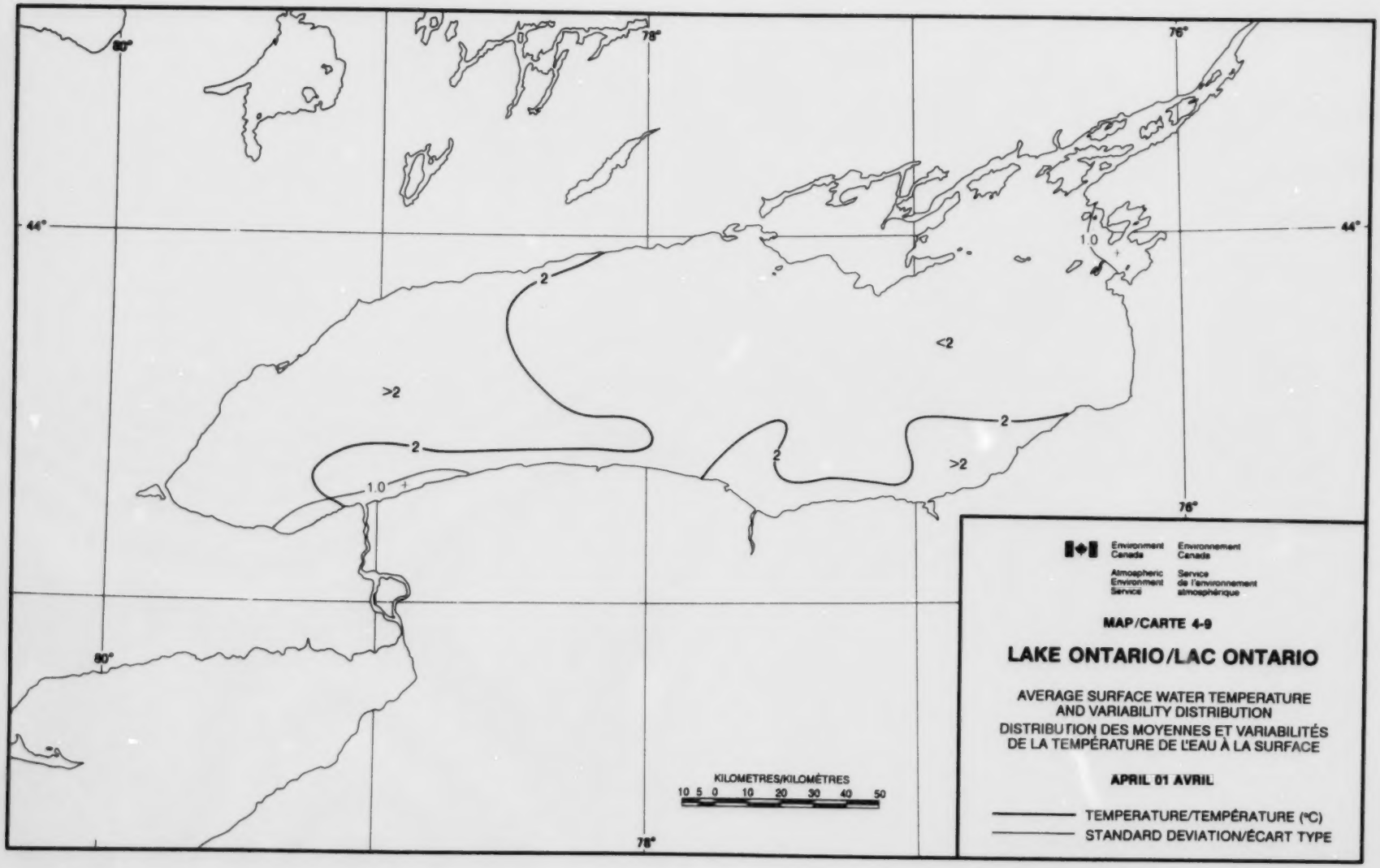
On n'observe généralement de la glace que dans les baies abritées de l'extrémité est du lac. Les fourchettes semblables de températures et de variabilité montrent que les températures de surface peuvent rester proches du point de congélation sur tout le lac au moment des périodes de grand froid.

Carte 4-9 1er avril

La température a augmenté dans tout le lac de 0,5 degré seulement depuis la mi-mars. Les gradients thermiques sont très faibles et semblent non organisés. Les eaux de surface légèrement plus chaudes dans le tiers ouest du lac peuvent être liées à des remontées d'eau sous l'effet des vents d'ouest dominants. Les eaux légèrement plus chaudes le long de la rive sud-est sont probablement associées au transport des eaux plus chaudes sous l'effet des vents d'ouest et à leur concentration dans cette région. Les températures <2 degrés dans la zone littorale, à l'est de la rivière Niagara, reflètent la trajectoire de l'écoulement de la rivière qui charrie la glace brisée provenant du lac Érié.

La variabilité est plus uniforme dans tout le lac. Le maximum de variabilité de 1,0+ à l'embouchure de la rivière Niagara est lié à de plus importantes fluctuations thermiques dans l'écoulement. Un autre maximum de variabilité (1,0+) s'observe dans les eaux peu profondes et abritées (extrémité est) où les températures de surface répondent plus rapidement aux variations des conditions météorologiques.


80°
78°
76°
44°
44°
76°
80°
78°
1
1
0
<0
>1
1.0
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-8
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
MARCH 16 MARS
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


80°
78°
76°
44°
44°
2
>2
2
1.0
<2
2
2
>2
1.0
76°
80°
78°
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-9
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
APRIL 01 AVRIL
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE

Map 4-10 April 16

Noticeable shallow water warming and the approach of the spring overturn are becoming evident. The well-organized variability pattern demonstrates the strong correspondence between stability of surface temperature and depth of the water column. The surface layer of the shallow near-shore water is subjected to rapid daytime heating and nighttime cooling and mixing, which results in the formation and subsequent destruction of thin and transient density stratification. Surface temperature variability is smaller in the deeper, freely-mixing central water mass.

Map 4-11 May 1

Development of summer stratification has begun in the near-shore zone. The well-organized, depth-related temperature and variability pattern which started in mid-April (Map 4-10) is now quite pronounced.

Although the start of summer stratification in the near-shore zone is indicated at this time by the fully-closed 4-degree isotherm, the variability range suggests that it is not unusual for the temperature of the near-shore waters to be only in the 2 to 3 degree range during cool springs.

Map 4-12 May 16

The temperature field shows the development of the thermal bar structure, which is characterized by a rapid increase in surface temperature shoreward from the 4-degree isotherm. The isotherms are more tightly-packed along the south shore where the very steep bottom (refer to Map 4-2) delays the advance of the thermal bar into the lake.

The temperature pattern remains strongly depth-related, but the general trend in variability is from low (1.5-) along the north shore to high (2.0+) along the south shore. This is probably due to transport of surface water southeastward by the prevailing westerly winds. Frequent stripping and transport of the surface water from the northern region southeastward into the lake under westerly winds shortens the duration of sustained and undisturbed heating of the surface layer, thus reducing the range of the surface temperature along the north shore. The same wind regime produces periodic impounding of warm surface water and a

Carte 4-10 16 avril

Le réchauffement des eaux peu profondes et l'approche du renversement printanier deviennent manifestes. Le régime de variabilité, bien organisé, démontre l'étroite corrélation entre la stabilité des températures de surface et l'épaisseur de la colonne d'eau. La couche supérieure d'eau littorale peu profonde est soumise à un réchauffement diurne et à un refroidissement nocturne rapides ainsi qu'au brassage, ce qui entraîne la formation puis la distribution subséquente d'une stratification de densité tout à la fois mince et temporaire. La variabilité des températures de surface est moins marquée dans la masse d'eau du centre, plus épaisse, où le brassage s'effectue librement.

Carte 4-11 1er mai

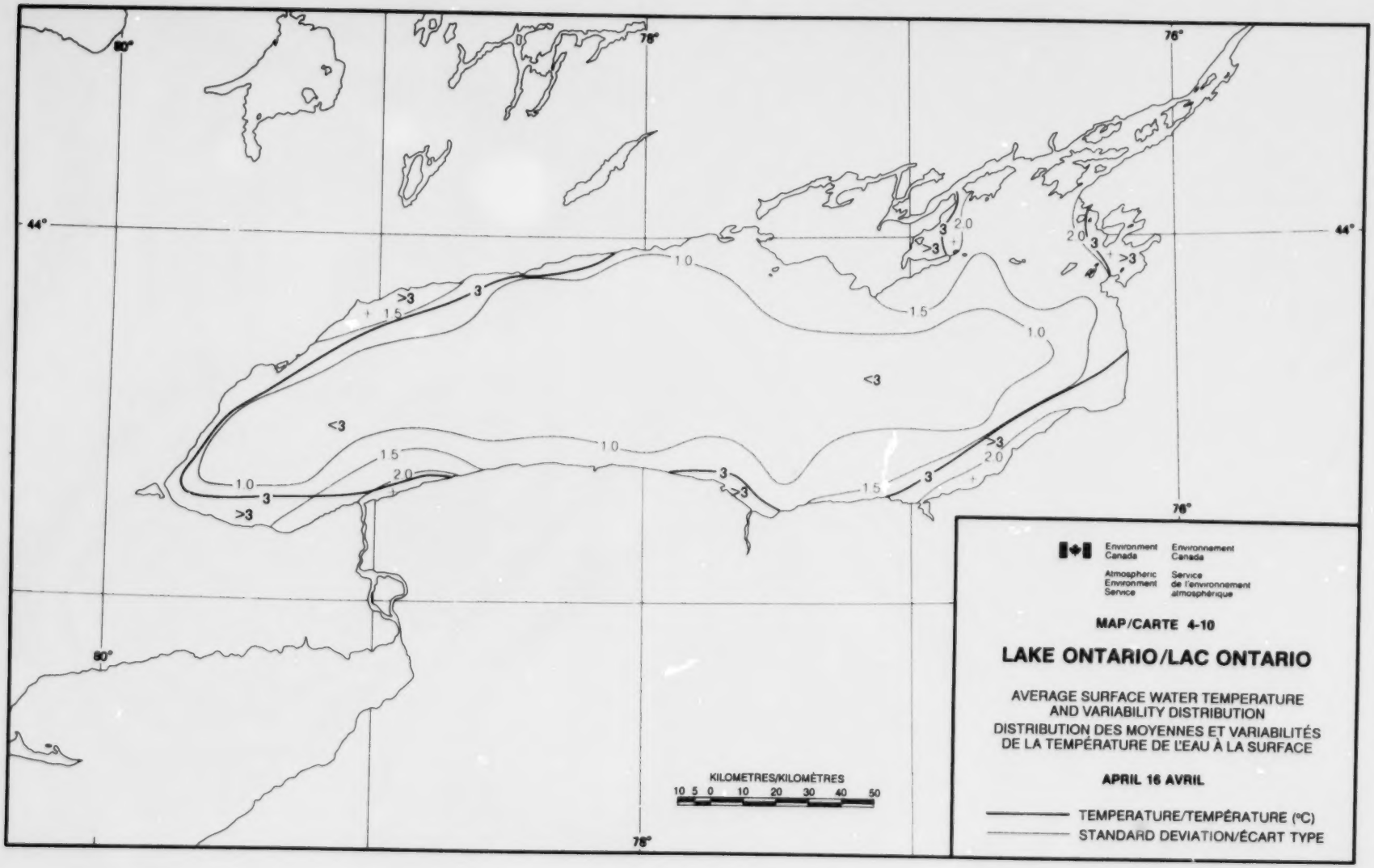
La stratification estivale est amorcée dans la zone littorale. Le régime de températures et de variabilité, bien organisé et fonction de la profondeur, qui a commencé à s'organiser à la mi-avril (carte 4-10) est maintenant très prononcé.

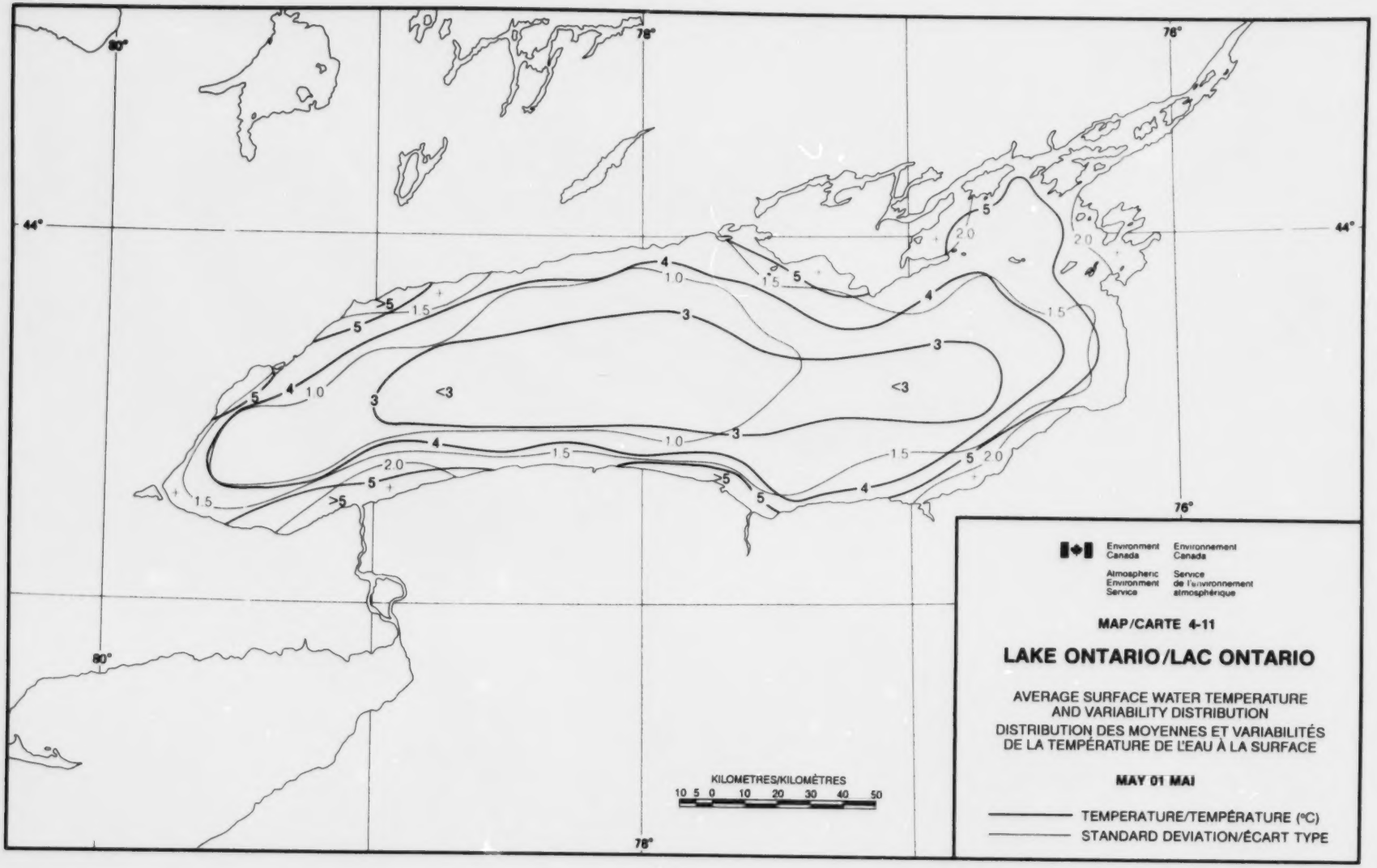
Bien que le début de la stratification estivale dans la zone littorale soit montré à cette époque par l'isotherme entièrement fermé de 4 degrés la plage de variabilité révèle qu'il ne serait pas inhabituel que les eaux littorales oscillent seulement entre 2 et 3 degrés lorsque les printemps sont frais.

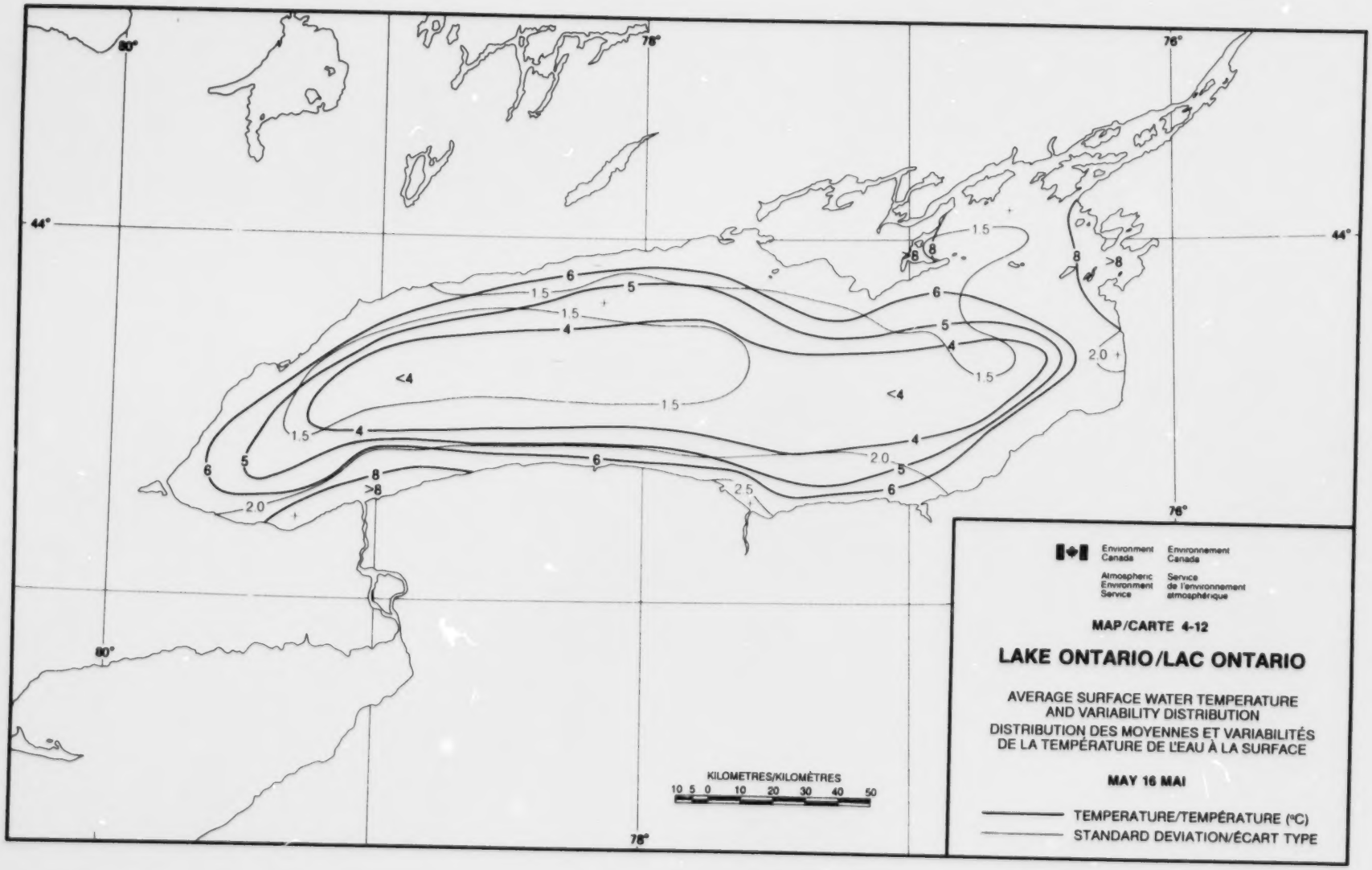
Carte 4-12 16 mai

Le champ thermique montre le développement de la barrière thermique, caractérisée par une augmentation rapide des températures de surface du côté rive de l'isotherme de 4 degrés. Les isothermes sont plus rapprochés le long de la rive sud où le fond très abrupt (voir la carte 4-2) ralentit la progression de cette barrière vers le milieu du lac.

La configuration thermique demeure étroitement liée à la profondeur, mais la tendance générale de variabilité varie de faible (1,5-) le long de la rive nord à élevée (2,0+) le long de la rive sud. Cela est probablement dû au transport des eaux de surface vers le sud-est sous l'effet des vents d'ouest dominants. Sous l'effet du fréquent "rabotage" et du transport d'eau de surface de la région du nord vers le sud-est sous l'influence des vents d'ouest, la durée du réchauffement soutenu et non perturbé de la couche superficielle est réduite et du même coup, la gamme des températures de surface le long de la rive nord s'abaisse. Le


80°
78°
76°
44°
<3
1.0
1.5
2.0
3
>3
KILOMETRES/KILOMÉTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-10
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
APRIL 16 AVRIL
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


80°
78°
76°
44°
<3
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-11
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
MAY 01 MAI
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


80°
78°
76°
44°
<4
1.5
2.0
2.5
4
5
6
8
>8
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-12
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
MAY 16 MAI
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE

greater surface temperature range along the south shore.

Map 4-13 June 1

Spring overturn is normally completed and summer stratification established throughout the lake. However, as indicated by the 3.0+ variability in the cold central core waters, it is not unusual for winter stratification to persist in the central region of the lake during cold spring seasons.

The warmest water (12+ degrees) is found in the extreme east end and in the Niagara river inflow region. The depth-related isotherm pattern is starting to break down along the north and west shores as a result of wind-induced upwelling.

The season is entering the period of maximum possible insolation. Cloud cover, which can be very variable from year to year, is now a critical factor to daily heat input to the lake. Therefore, surface temperature variability is also large over the entire lake surface, ranging from 2.0- to 3.0+ degrees.

The variability pattern shows a reversal of the early spring structure: variability is now smaller in the warm near-shore zone than in the colder water (compare with Maps 4-10 and 4-11). The tenuous stratification in the thin epilimnion in the central region can be readily destroyed by wind-induced mixing, lowering surface temperature drastically in the process. Conversely, surface temperatures can be elevated rapidly on calm and sunny days. Temperature changes are relatively smaller in the thicker epilimnion of the near-shore zone.

The depth-related standard deviation isopleth pattern is also starting to break down in the northwestern region of the lake, due to the effects of periodic upwelling.

Map 4-14 June 16

Summer stratification is normally established throughout the lake, but the large variability (4.5+) in water colder than 10 degrees infers that completion of stratification can be delayed past mid-June during cold springs. Both temperature and variability conform strongly to depth in the deep central region, but in the northwestern third of the lake and also in the northeast basin the patterns are

même régime éolien produit une concentration périodique d'eaux de surface chaudes et une gamme des températures de surface plus étendue le long de la rive sud.

Carte 4-13 1er juin

Le renversement printanier est normalement achevé et la stratification estivale établie dans tout le lac. Cependant, comme le révèle la variabilité de 3,0+ dans les eaux froides du centre, il n'est pas inhabituel que la stratification hivernale persiste à cet endroit par printemps sont froids.

L'eau la plus chaude (12+ degrés) est présentée à l'extrémité est et là où se jette la rivière Niagara. Le régime d'isothermes, fonction de la profondeur, commence à disparaître le long des rives nord et ouest sous l'influence d'une remontée d'eau engendrée par le vent.

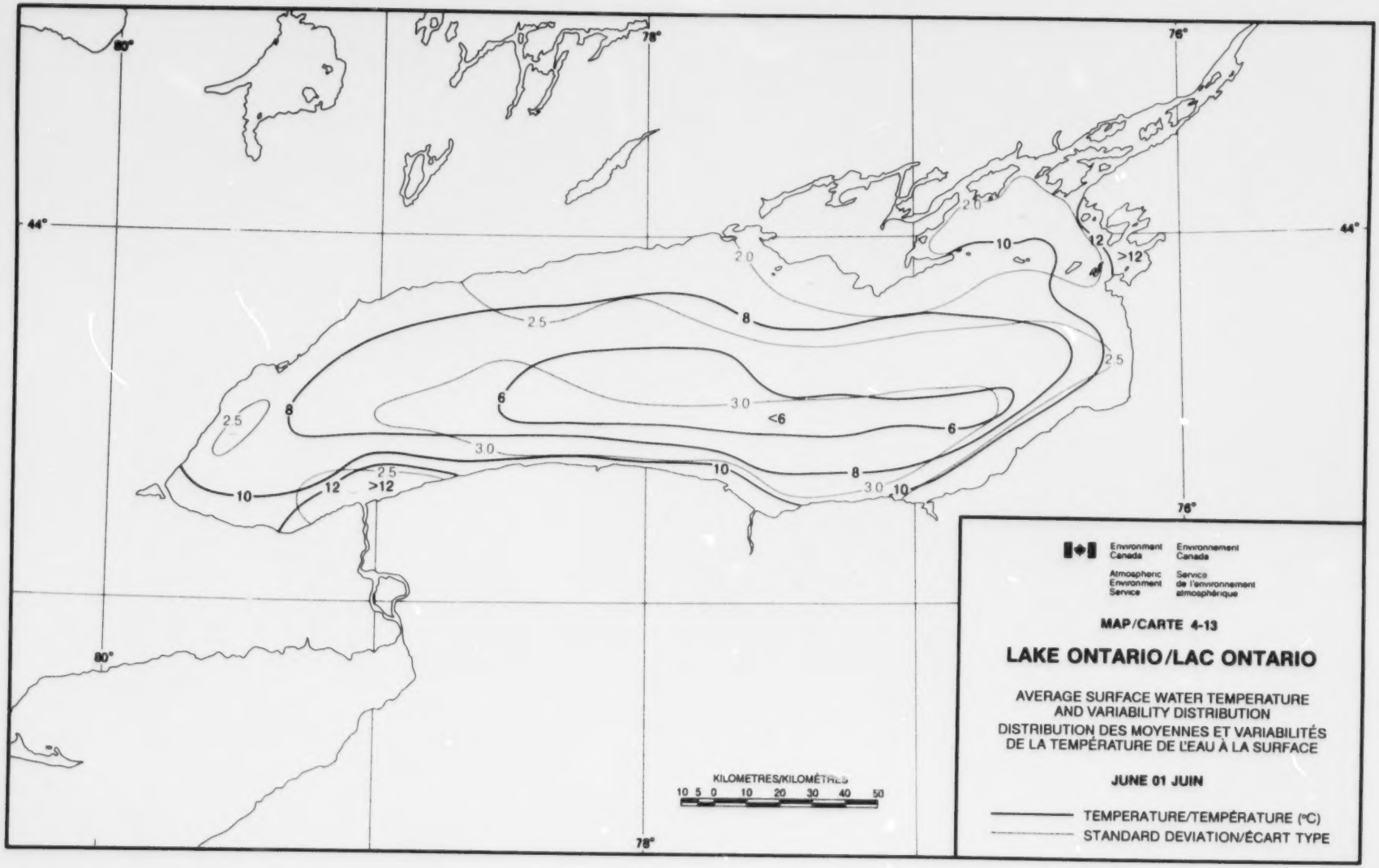
On approche de la période d'insolation possible maximale. La nébulosité, qui peut varier beaucoup d'une année à l'autre, constitue maintenant un facteur critique à l'apport quotidien de chaleur au lac. La variabilité des températures de surface est donc également importante pour tout le lac (2,0-à 3,0+ degrés).

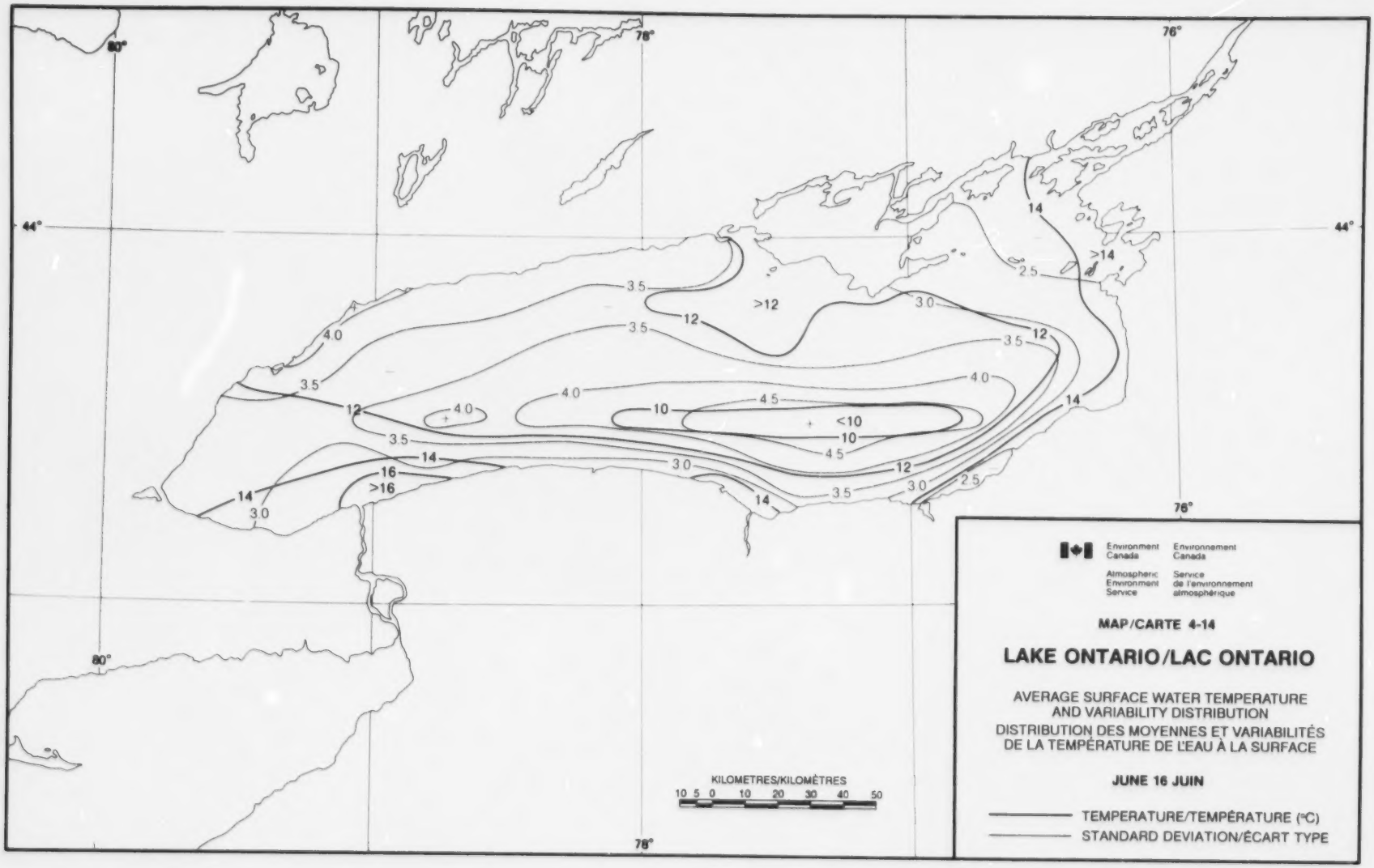
La configuration de variabilité présente un renversement par rapport à la structure du début du printemps : la variabilité est maintenant plus faible dans la zone littorale chaude que dans les eaux plus froides (comparer avec les cartes 4-10 et 4-11). La stratification peu marquée dans le mince épilimnion de la région centrale peut être facilement détruite par le brassage engendré par le vent, abaissant ainsi de façon considérable la température de surface. Inversement, la surface peut se réchauffer rapidement par temps ensoleillé et calme. Les variations thermiques sont relativement plus faibles dans l'épilimnion plus épais de la zone du littoral.

La configuration des isoplètes (écarts types) est de moins en moins liée à la profondeur dans le nord-ouest du lac, à cause des effets d'une remontée d'eau périodique.

Carte 4-14 16 juin

La stratification estivale est normalement établie dans tout le lac, mais parce que la variabilité est importante (4,5+) dans l'eau dont la température est inférieure à 10 degrés, la stratification peut ne s'achever qu'après la mi-juin lorsque les printemps sont froids. La température et la variabilité se conforment de façon très marquée à la profondeur dans la région du centre, mais dans le tiers


80°
78°
76°
44°
44°
80°
78°
76°
2.0
2.0
2.5
2.5
2.5
2.5
3.0
3.0
3.0
3.0
<6
6
6
8
8
8
10
10
10
10
12
12
>12
>12
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-13
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JUNE 01 JUIN
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


80°
78°
76°
44°
80°
78°
76°
44°
3.5
4.0
3.5
12
>12
3.5
12
3.0
2.5
14
>14
4.0
4.0
10
4.5
<10
10
4.5
3.5
14
16
>16
14
3.0
3.0
12
3.0
2.5
3.5
14
14
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-14
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JUNE 16 JUIN
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE

now definitely shaped by the prevailing westerly winds. Particularly notable is the strong and organized variability gradient in the upwelling region along the north shore.

The large lake-wide surface temperature variability, already noted on June 1, continues during the period of maximum possible insolation. The Niagara river inflow is distinctly warmer than the lake water.

Map 4-15 July 1

The relationship of surface temperature and variability to depth has nearly disappeared, with the exception of the deepest part of the lake, where a closed variability high (4.0+) is situated in slightly colder water. In the northwestern third of the lake, the temperature and variability gradients are shaped by upwelling.

A westerly return flow, opposite to the wind-induced eastward transport, is suggested by the protrusion of the tongue of >15-degree water from GP30 toward GP28. The northward bulge in the 15-degree isotherm in the vicinity of GP26 is probably created by the plume of the warmer Niagara river waters.

Map 4-16 July 16

Recurring upwelling episodes in the northwestern third of the lake control the surface temperature field structure. A well organized northwest-to-southeast temperature and variability gradient is established throughout. Surface temperature gradients and variability are decreasing in the well-mixed, mature epilimnion in the southeastern half of the lake.

Map 4-17 August 1

As the epilimnion thickens, the surface temperature gradient decreases from that of mid-July (Map 4-16). Variability is also less extreme. A separate small upwelling area in the vicinity of GP18, identified by the isolated variability high (2.5+), is probably created by surfacing bottom return currents.

nord-ouest du lac ainsi que dans le bassin nord-est, les configurations sont de toute évidence tributaires des vents d'ouest dominants. Le gradient de variabilité très marqué et organisé dans la région de remontée le long de la rive nord est particulièrement frappant.

L'importante variabilité des températures qui s'observe à la surface de tout le lac, déjà constatée le 1er juin, se poursuit durant toute la période d'insolation possible maximum. Les eaux de la rivière Niagara sont beaucoup plus chaudes que les eaux du lac.

Carte 4-15 1er juillet

Le rapport qui existait entre la profondeur, d'une part, et la température de surface et la variabilité, d'autre part, est presque complètement disparu, sauf pour la portion la plus profonde du lac, où s'observe un maximum de variabilité (isotherme fermé 4,0+) dans les eaux légèrement plus froides. Dans le tiers nord-ouest du lac, les gradients de température et de variabilité sont façonnés par les remontées d'eau.

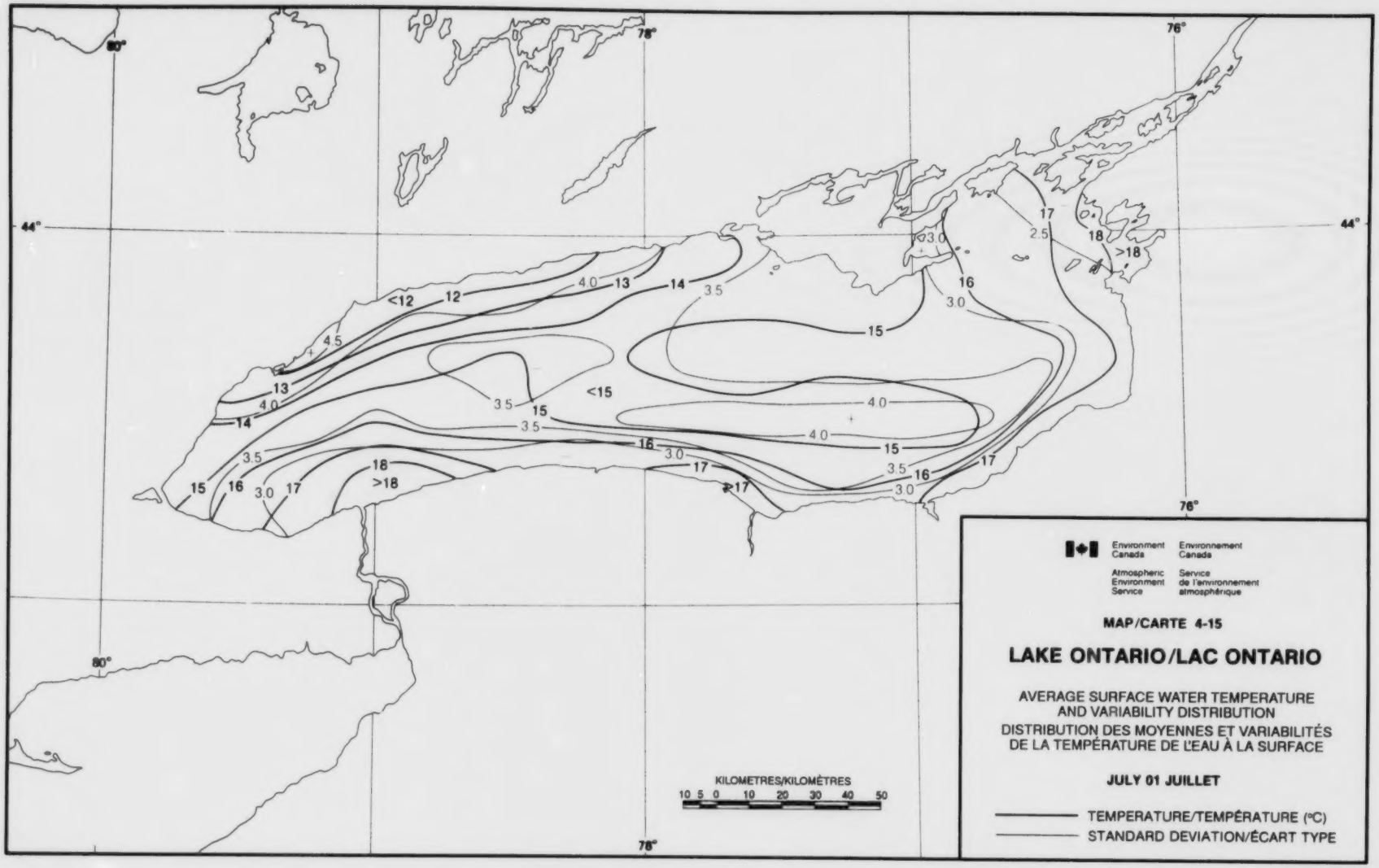
Il semble qu'il y ait un écoulement en retour vers l'ouest, qui s'oppose au transport éolien vers l'est, à preuve la langue d'eau supérieure à 15 degrés qui s'avance de PG30 vers PG28. Le renflement vers le nord de l'isotherme de 15 degrés au voisinage de PG26 est probablement dû à l'écoulement des eaux plus chaudes de la rivière Niagara.

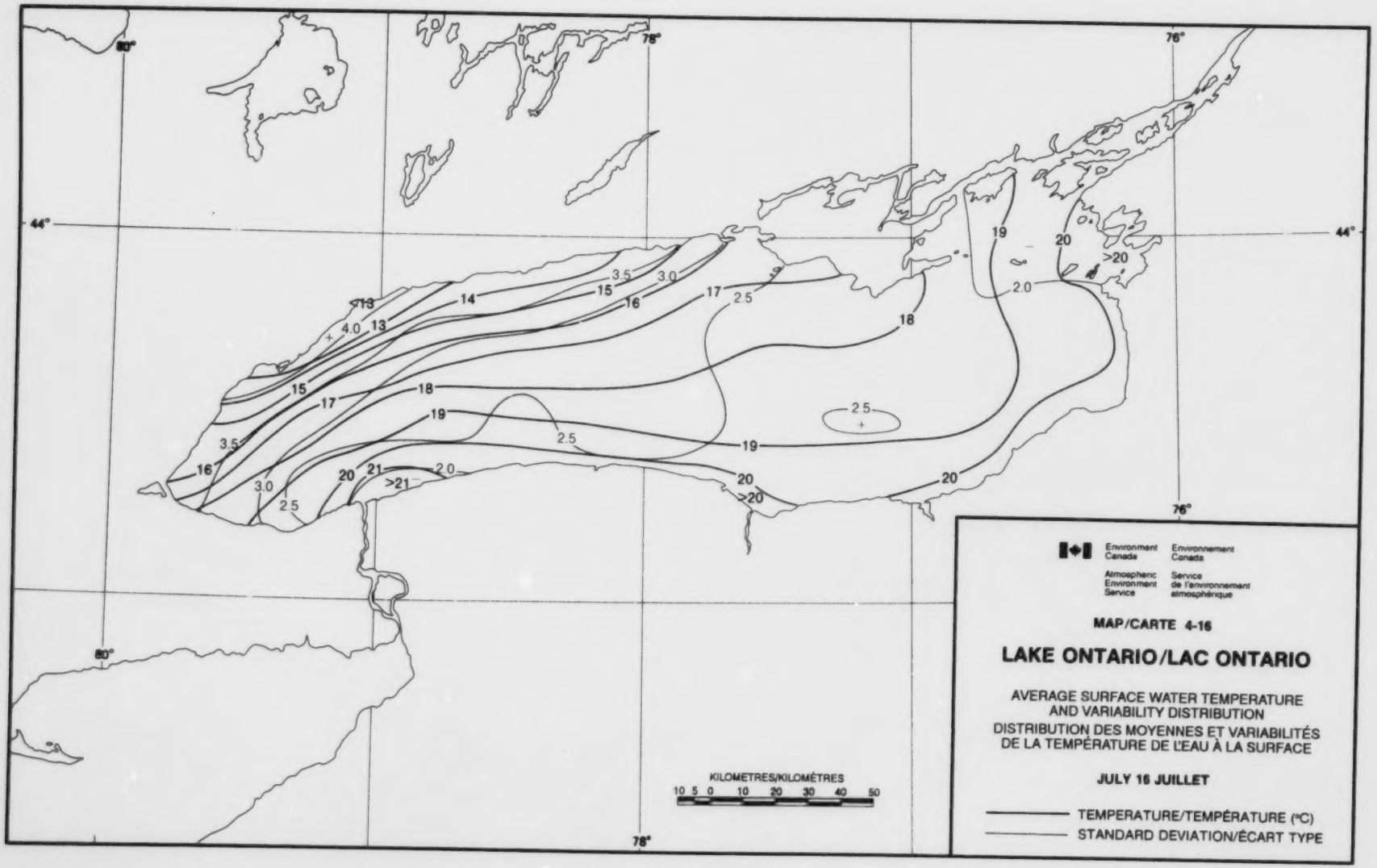
Carte 4-16 16 juillet

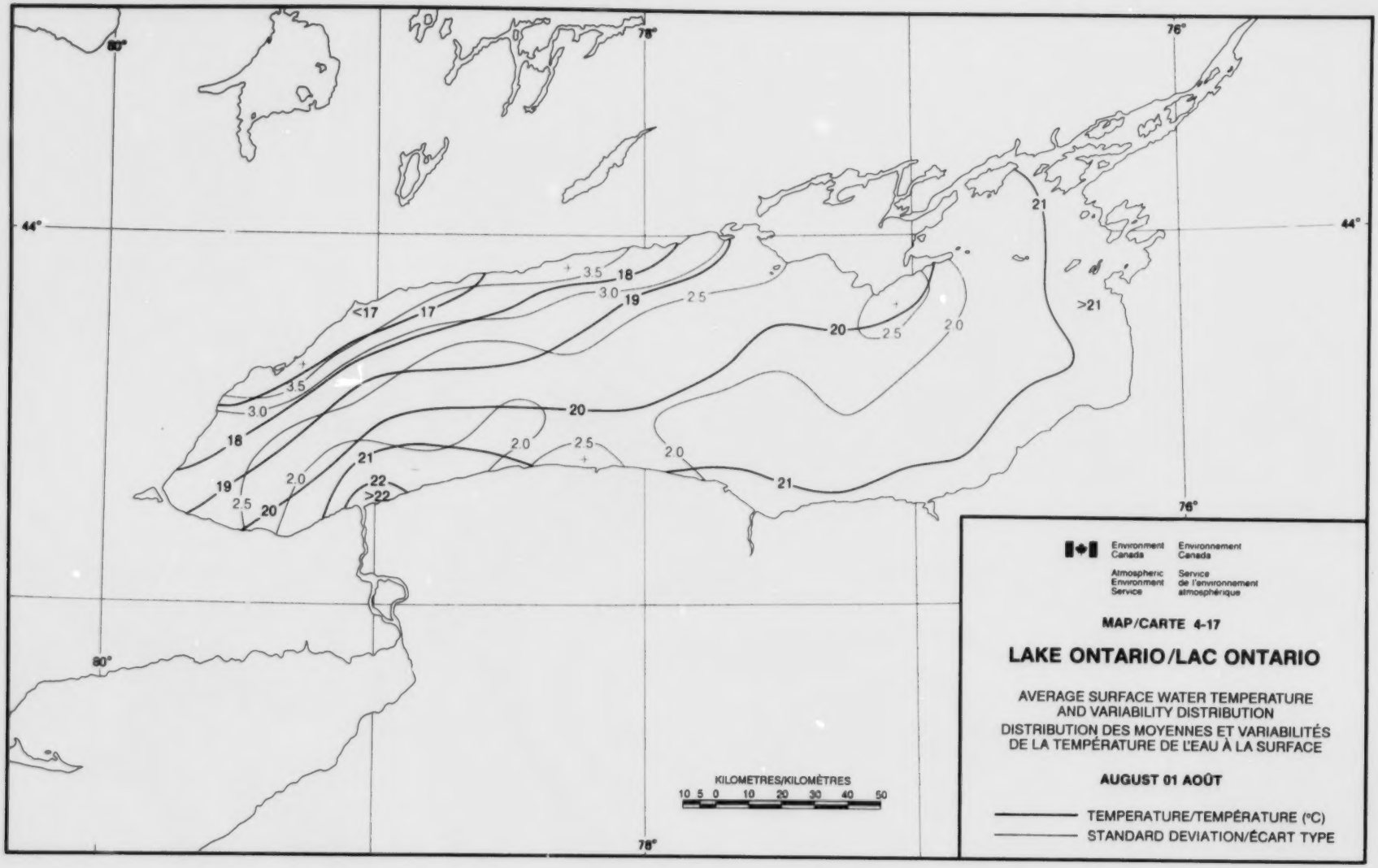
Dans le tiers nord-ouest du lac, ce sont des épisodes périodiques de remontée d'eau qui contrôlent le champ thermique à la surface. Un gradient nord-ouest-sud-est de température et de variabilité bien organisé s'établit dans tout le lac. Les gradients de température de surface et de variabilité diminuent dans un épilimnion bien mélangé, à maturité, dans la moitié sud-est du lac.

Carte 4-17 1er août

A mesure qu'épaissit l'épilimnion, le gradient de température diminue par rapport à celui de la mi-juillet (carte 4-16). La variabilité est également moins extrême. Une petite zone distincte de remontée d'eau au voisinage de PG18, marquée par le maximum de variabilité isolé (2,5+) est probablement crée par la remontée à la surface de courants de retour au fond.


80°
78°
76°
44°
<12
12
13
14
15
16
17
18
>18
<15
3.0
3.5
4.0
4.5
2.5
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-15
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JULY 01 JUILLET
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


80°
78°
76°
44°
<13
14
15
16
17
18
19
20
>20
21
>21
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-16
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JULY 16 JUILLET
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


80°
78°
76°
44°
<17
17
18
19
20
21
>21
22
>22
3.5
3.0
2.5
2.0
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-17
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
AUGUST 01 AOÛT
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE

Upwelling can occur also along the south shore during prolonged periods of southeasterly winds. The upwelling area is marked by another small variability high (2.5+) in the vicinity of GP56. This feature appears to disrupt the Niagara flow pattern, which is associated with the 2.0- variability.

Map 4-18 August 16

This is the time of maximum surface temperatures. The northwest-to-southeast temperature gradient decreases significantly in the thick epilimnion, but the temperature variability range remains nearly the same as at the beginning of the month in the northwestern upwelling region.

Other interesting observations on the behaviour of the temperature field during the summer peak temperature period can be made by comparing Maps 4-17 and 4-18. The 20-degree isotherm has remained in a nearly static position since August 1; there is a small increase in temperature in the northeast basin, but the temperature in the Niagara river plume and along the south shore is already less than at the beginning of the month. The significant surface temperature gain since the beginning of the month occurs in the northwestern third of the lake, in the upwelling region.

The south shore upwelling area, first identified at the beginning of August, is a stronger feature at mid-month, appearing as a temperature variability high of 2.5+ in the vicinity of GP56. It must be noted that surface manifestations of upwelling episodes along the south shore remain confined to a narrow zone near the shore, due to the very steep lake bottom slope (Map 4-2).

Map 4-19 September 1

The lake-wide surface temperature has decreased about 1.5 degrees since the mid-August summer maximum. The orderly northwest-to-southeast gradient prevails in the temperature and variability fields. The warmest water is impounded on the southeast shore by wind-induced surface transport.

Map 4-20 September 16

Surface water temperature changes are small at the beginning of the cooling season. The lake-wide temperature decreases by only 1.6 degrees and

Les remontées d'eau peuvent se produire aussi le long de la rive sud au cours de périodes où soufflent des vents du sud-est. La zone de remontée d'eau est marquée par un autre petit maximum de variabilité (2,5+) près de PG56. Ce maximum semble perturber le régime d'écoulement de la Niagara, associé à la variabilité de 2,0-.

Carte 4-18 16 août

C'est le moment où les températures de surface atteignent leur maximum. Le gradient de température nord-ouest-sud-est diminue de façon notable dans l'épilimnion épais, mais la gamme de la variabilité demeure à peu près identique à ce qu'elle était au début du mois dans la région de remontée d'eau du nord-ouest.

La comparaison des cartes 4-17 et 4-18 permet d'observer les caractéristiques intéressantes du comportement du champ thermique au cours de la période de températures maximums de l'été. Ainsi, l'isotherme de 20 degrés est demeuré à peu près au même endroit qu'au 1er août; il se produit une petite augmentation de température dans le bassin nord-est, mais la température de l'écoulement de la Niagara et des eaux longeant la rive est déjà inférieure à ce qu'elle était au début du mois. Il se produit un réchauffement important, par rapport au début du mois, dans le tiers nord-ouest du lac, dans la région de remontée d'eau.

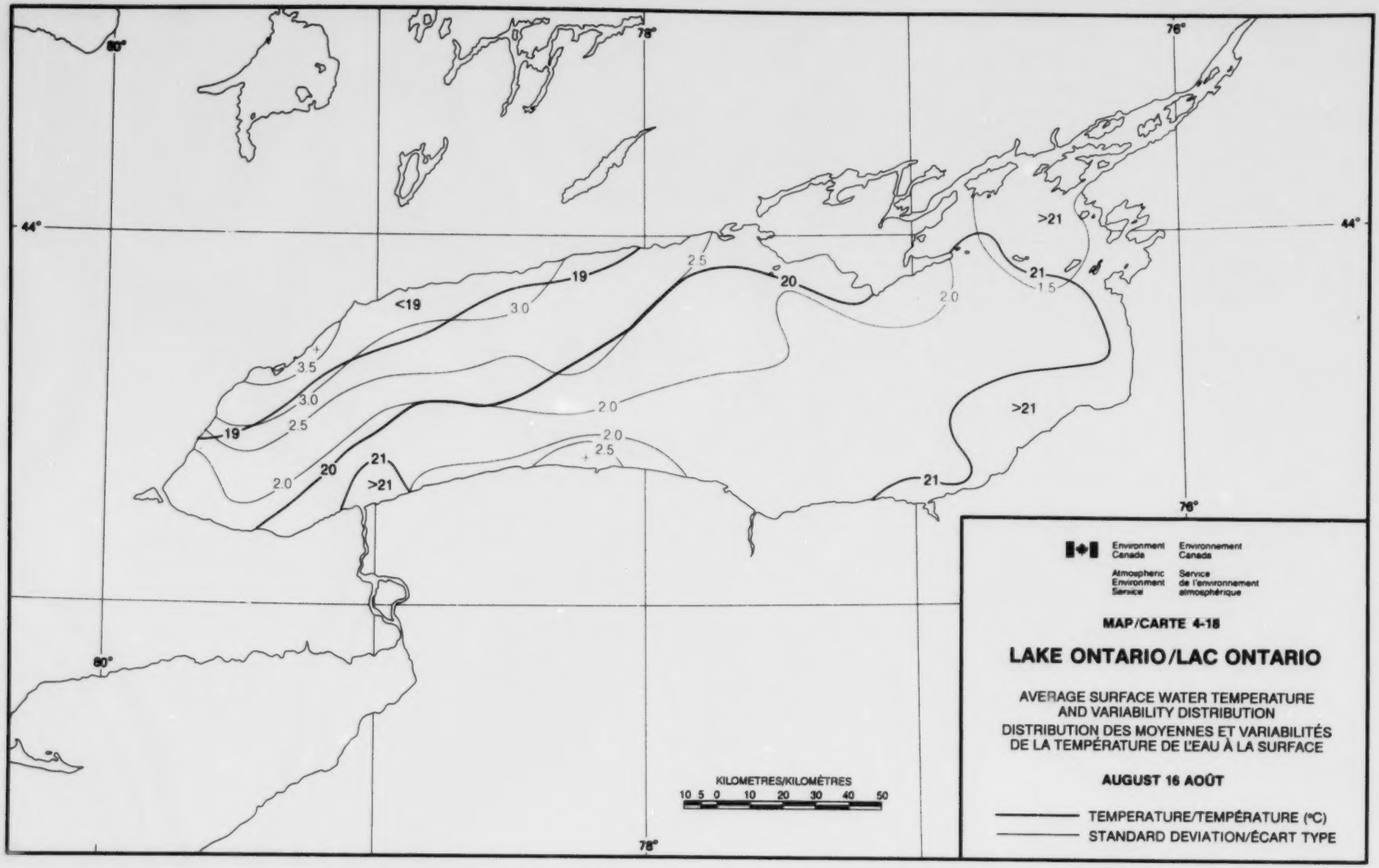
La région de remontée d'eau de la rive sud, constatée pour la première fois au début d'août, est plus marquée au milieu du mois, et apparaît sous forme d'un maximum de variabilité de 2,5+ près de PG56. Il faut noter que les manifestations en surface des épisodes de remontée d'eau le long de la rive sud restent confinées à une étroite zone près de la rive parce que le fond du lac descend rapidement à cet endroit (carte 4-2).

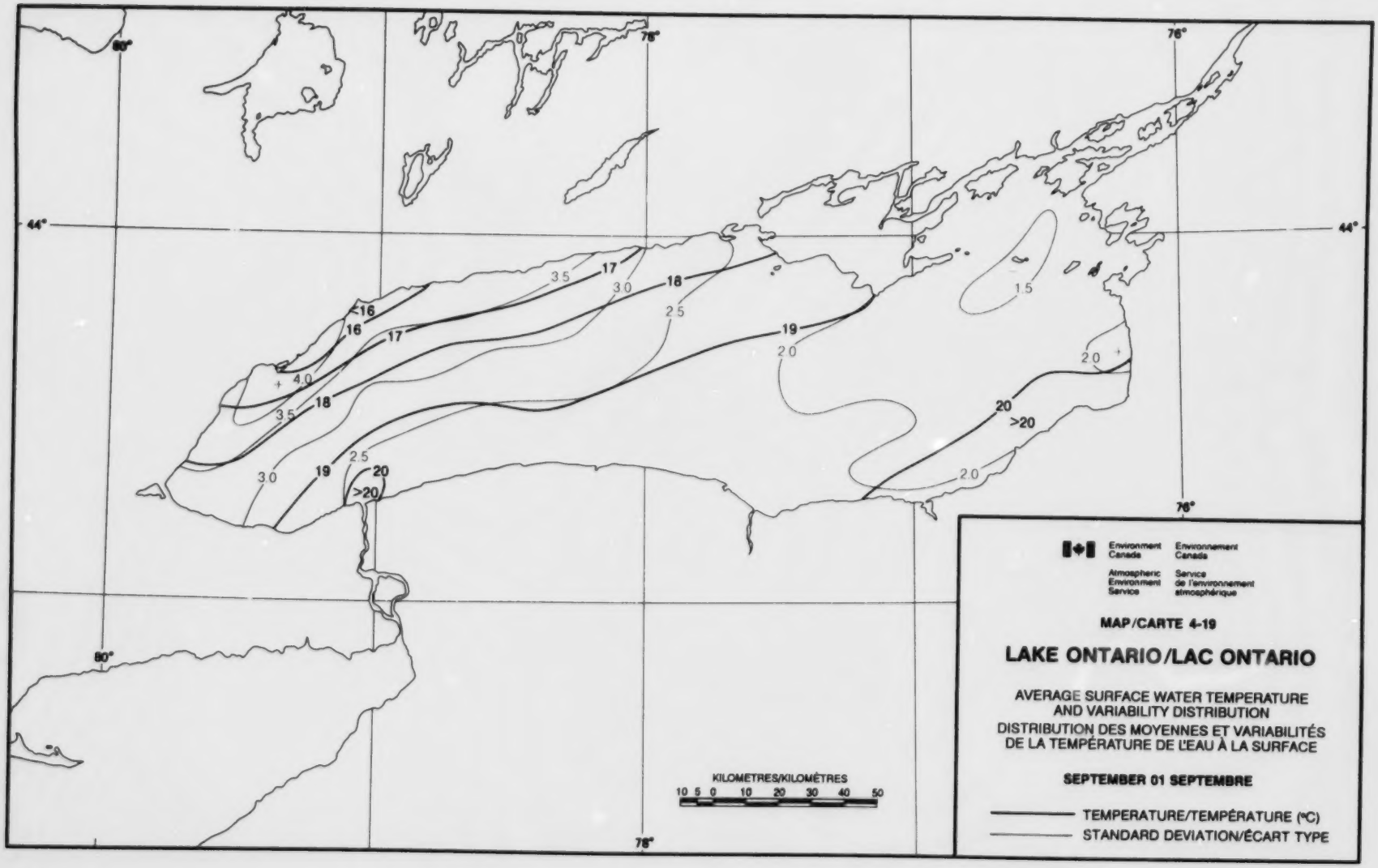
Carte 4-19 1er septembre

La température globale a diminué d'environ 1,5 degré depuis la mi-août (maximum estival). Le gradient net nord-ouest-sud-est persiste dans les champs de température et de variabilité. L'eau la plus chaude se concentre sur la rive sud-est à cause du transport éolien.

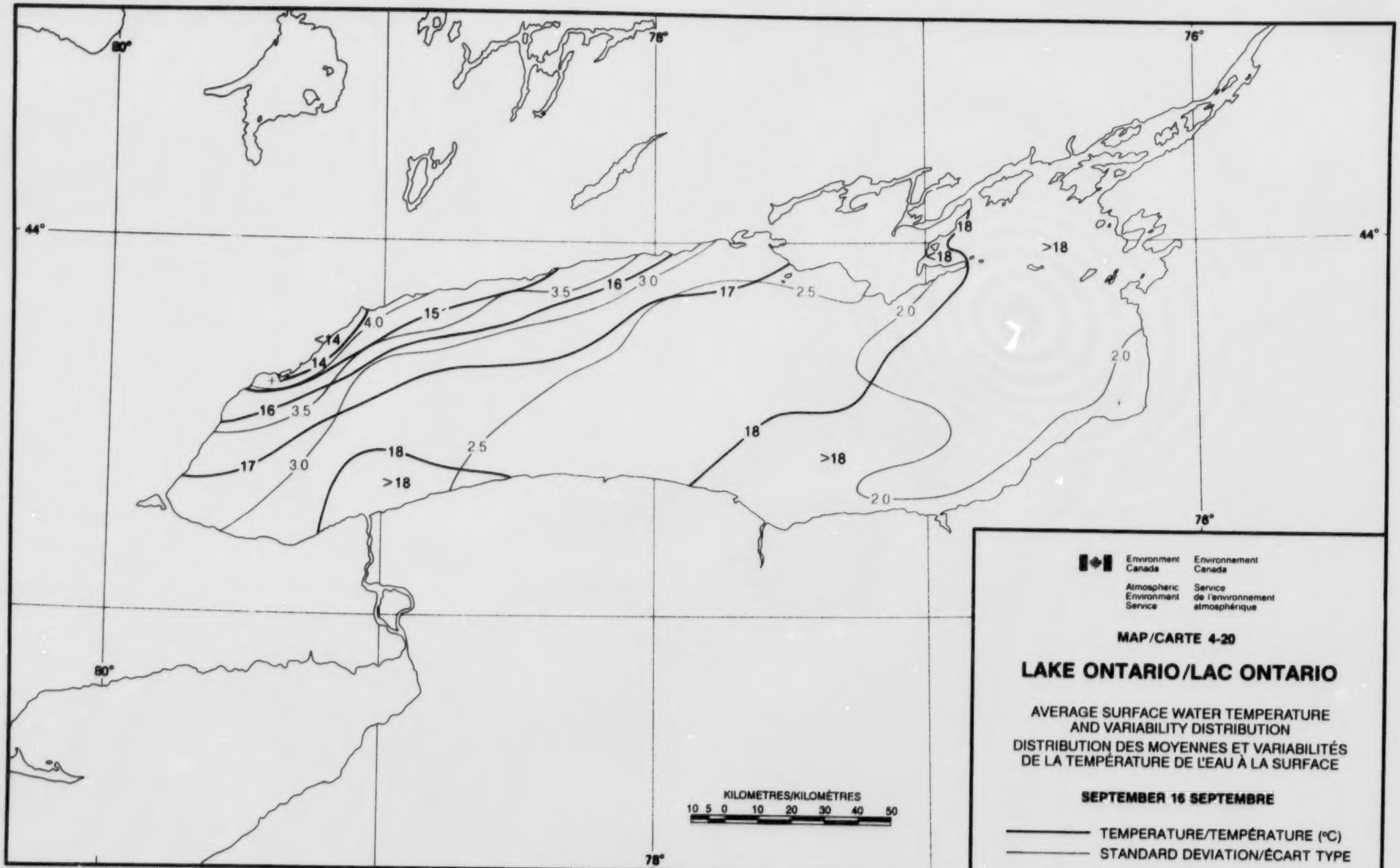
Carte 4-20 16 septembre

Les variations de températures sont faibles au début de la saison la plus fraîche. La température globale ne diminue que d'environ 1,6 degré et les


80°
78°
76°
44°
<19
19
20
21
>21
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-18
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
AUGUST 16 AOÛT
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE



80°
78°
76°
44°
<16
16
17
18
19
20
>20
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-19
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
SEPTEMBER 01 SEPTEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE



80°
78°
76°
44°
<14
14
4.0
15
3.5
16
3.0
17
2.5
2.0
18
>18
<18
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-20
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE
AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS
DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
SEPTEMBER 16 SEPTEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50

temperature and variability gradients remain almost unchanged since the beginning of the month (compare with Map 4-19).

Map 4-21 October 1

Onset of fall weather and accelerated surface water cooling is evident. Lake-wide temperature has decreased by 2.6 degrees since mid-September. Rapid shallow water cooling is implied by the closed-isotherm temperature high (>16 degrees) in the east end of the lake. At this time, the vertical temperature gradient is reduced, as both convective and mechanical mixing penetrate deeper into the thermocline region. As a result, the surface temperature variability is starting to decrease in the upwelling zone along the northwest shore.

Map 4-22 October 16

The process of rapid surface cooling, mixing to depth and destruction of the thermocline thickens the epilimnion and brings it toward a near-isothermal state. Consequently, temperature variability is also reduced in the north shore upwelling region.

Map 4-23 November 1

The surface temperature and variability gradients continue to decrease as the well-mixed water mass approaches isothermal conditions.

Map 4-24 November 16

Fall overturn is nearing completion. The water mass is now in a nearly isothermal state. The surface temperature gradient is small and variability is quite uniform throughout.

Map 4-25 December 1

Near the end of the fall overturn phase, temperature and variability are again beginning to show a relationship to depth. The warmest water and smallest variability are found in the deepest part of the lake.

gradients de température et de variabilité restent à peu près identiques à ce qu'ils étaient au début du mois (voir la carte 4-19).

Carte 4-21 1er octobre

L'arrivée de l'automne et le refroidissement accéléré des eaux de surface apparaissent clairement. La température globale a diminué de 2,6 degrés depuis la mi-septembre. Le refroidissement est rapide dans les eaux peu profondes de l'extrémité est du lac, comme semble le montrer le maximum de température sous forme d'isotherme fermé (>16 degrés). Durant cette période, le gradient thermique vertical s'amenuise à mesure que le brassage mécanique et convectif s'exerce de plus en plus profondément dans la région de la thermocline. La variabilité commence donc à diminuer dans la zone de remontée d'eau qui s'observe le long de la rive nord-ouest.

Carte 4-22 16 octobre

Sous l'effet du refroidissement rapide en surface, du brassage profond et de la destruction de la thermocline, l'épilimnion s'épaissit et atteint un état quasi-isotherme. La variabilité thermique est donc également réduite dans la région de remontée d'eau de la rive nord.

Carte 4-23 1er novembre

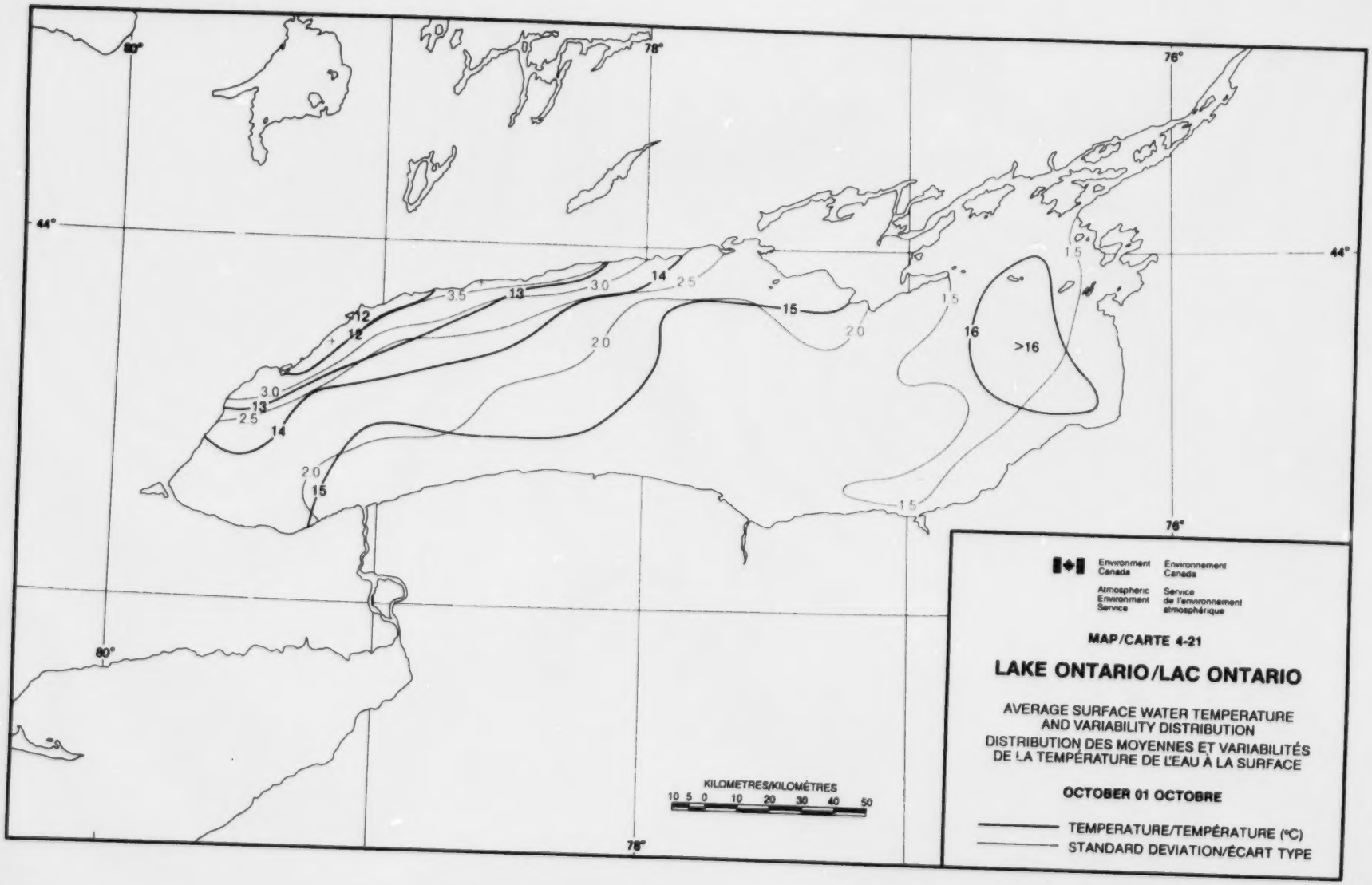
Les gradients de température et de variabilité continuent à se réduire à mesure que la masse d'eau bien mélangée s'approcher d'un état isotherme.

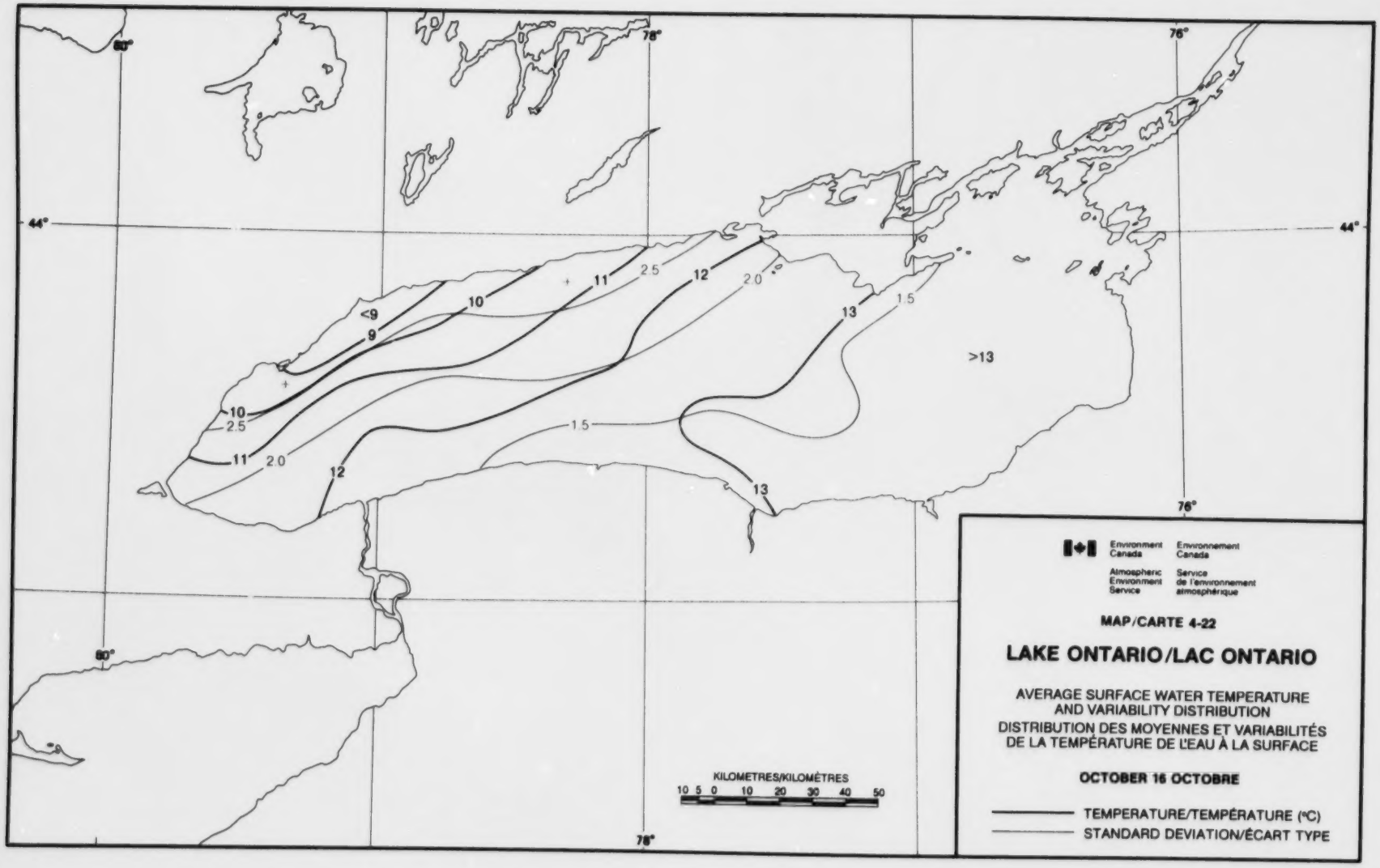
Carte 4-24 16 novembre

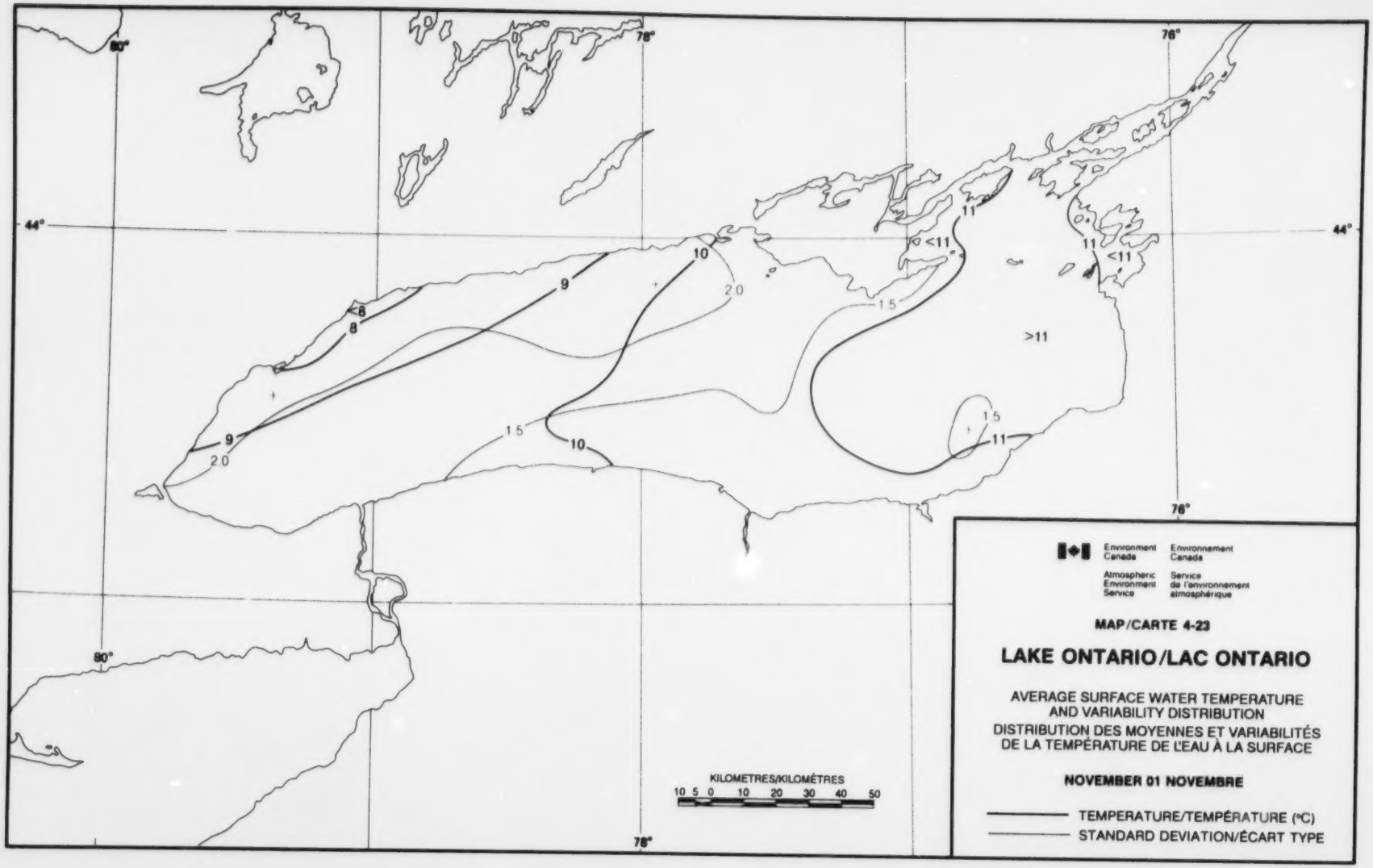
Le renversement automnal est presque achevé. La masse d'eau est maintenant presque isotherme. Le gradient de température de surface est petit et la variabilité à peu près uniforme globalement.

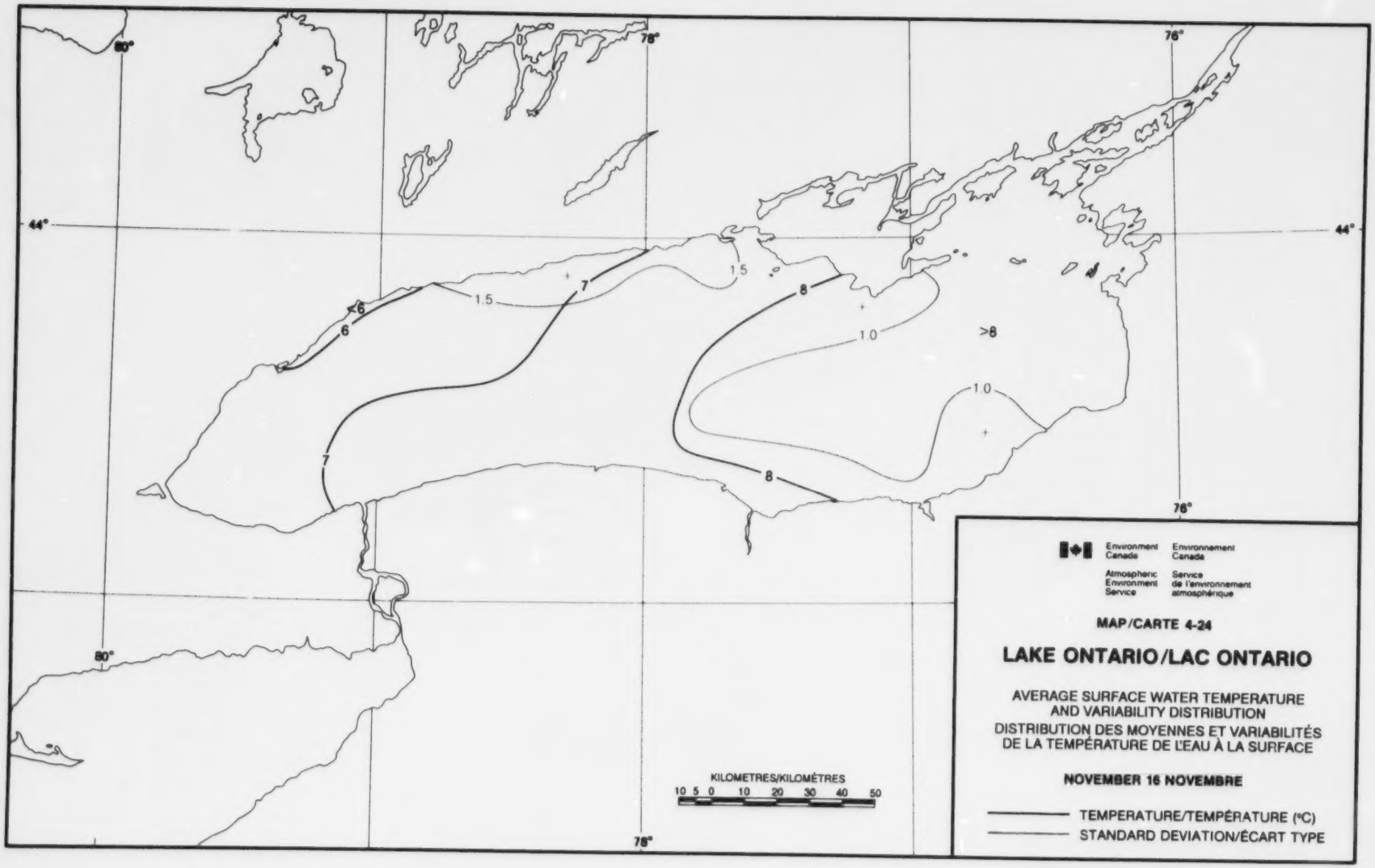
Carte 4-25 1er décembre

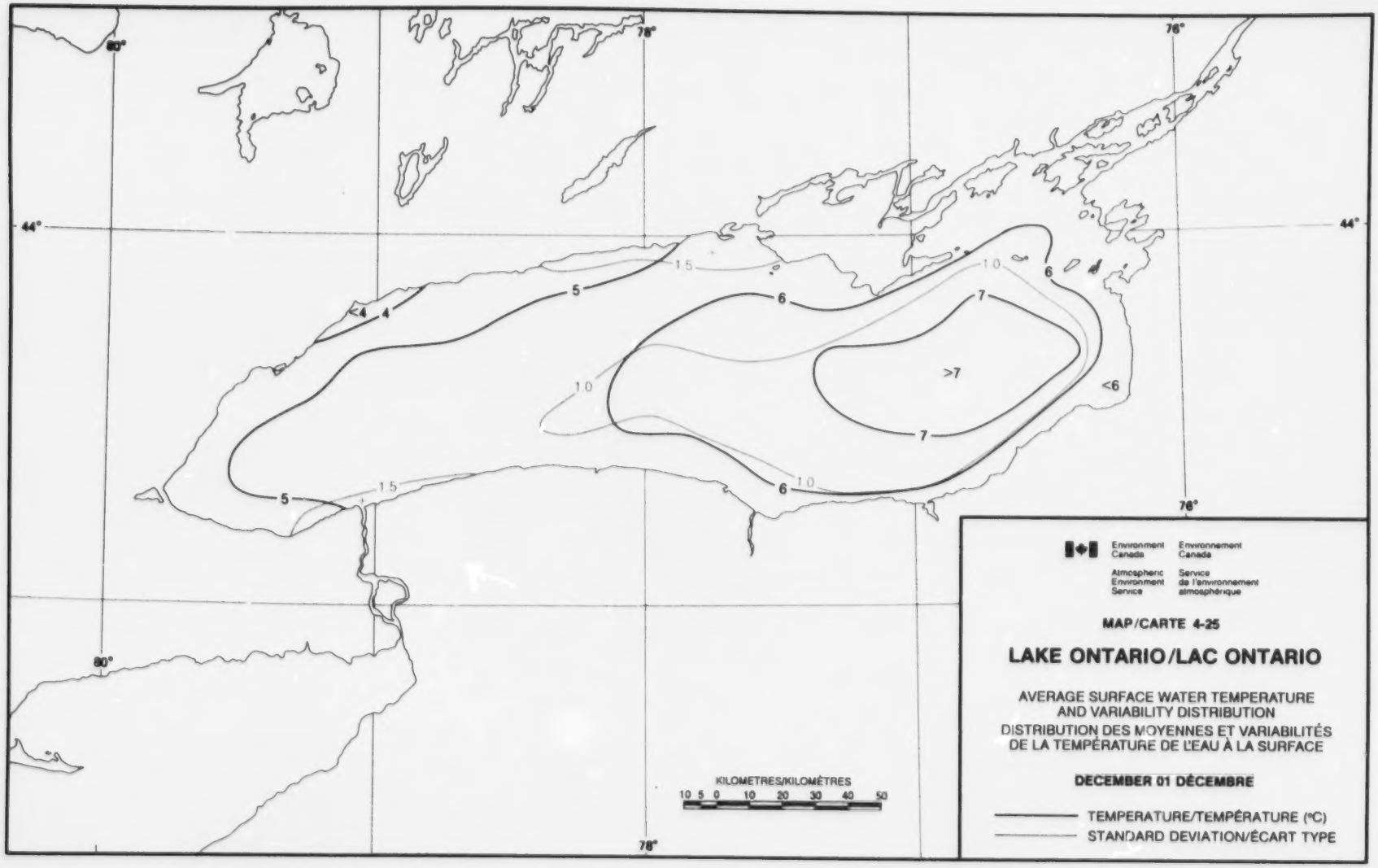
Vers la fin du stade de renversement automnal, la température et la variabilité commencent à être fonction de la profondeur. En effet, l'eau la plus chaude et la variabilité la plus faible s'observent dans la portion la plus profonde du lac.


80°
78°
76°
44°
<12
12
13
14
15
16
>16
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-21
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
OCTOBER 01 OCTOBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


80°
78°
76°
44°
<9
9
10
11
12
13
2.5
2.0
1.5
>13
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-22
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
OCTOBER 16 OCTOBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


80°
78°
76°
44°
<8
8
9
10
2.0
1.5
<11
11
>11
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-23
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
NOVEMBER 01 NOVEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


80°
78°
76°
44°
80°
78°
76°
44°
6
6
1.5
7
7
1.5
8
8
1.0
>8
1.0
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-24
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
NOVEMBER 16 NOVEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


80°
78°
76°
44°
<4
4
5
6
7
>7
<6
1.5
1.0
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-25
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
DECEMBER 01 DÉCEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE

Map 4-26 December 16

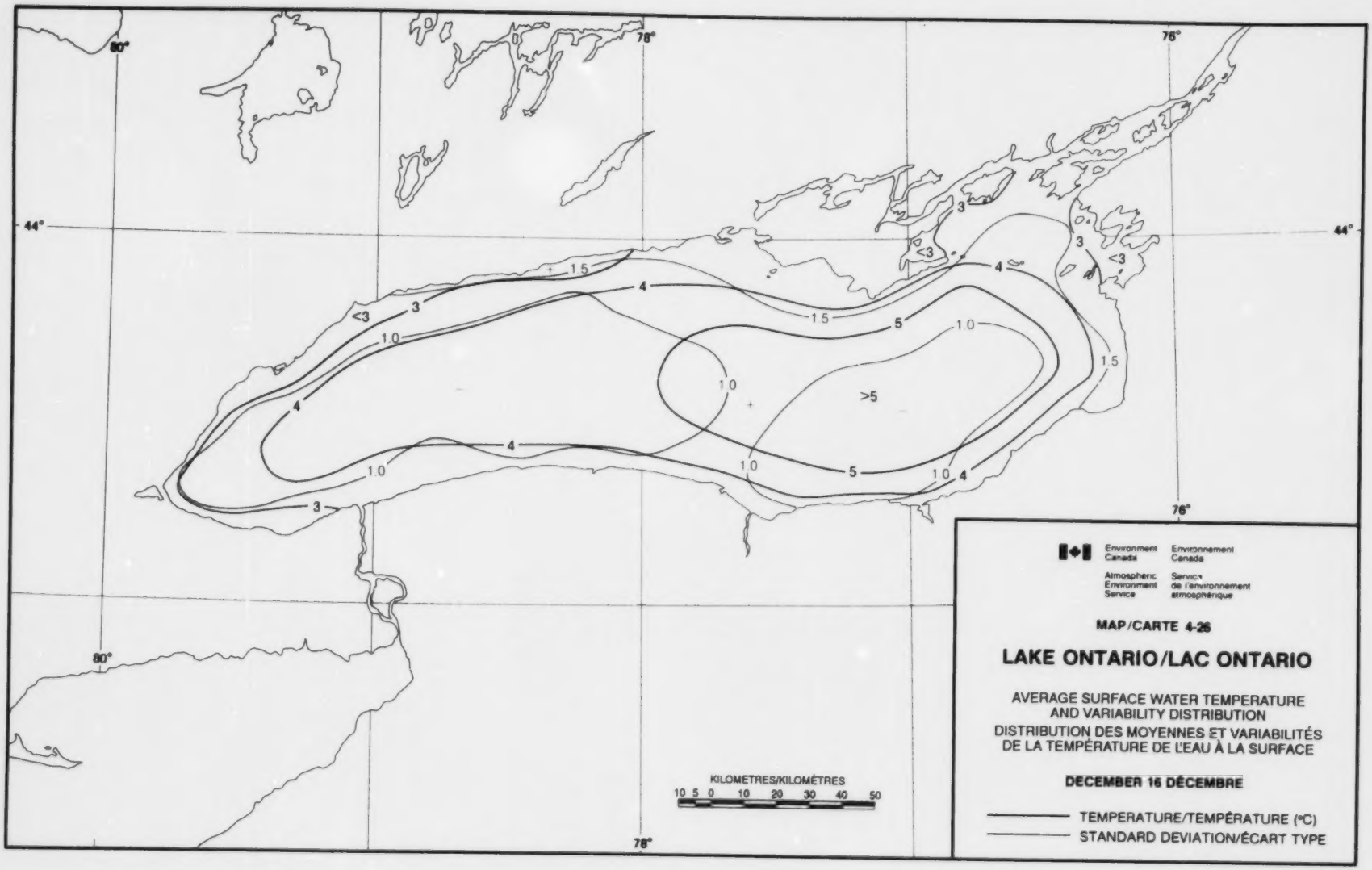
Onset of winter stratification in the shallow near-shore zone is indicated by the fully-closed 4-degree isotherm. Surface temperature shows a strong relationship to depth.

The variability field is likewise organized in a depth-related fashion. Variability is smaller (1.0-) in the central core waters, where convective mixing maintains a more constant surface temperature. Greater variability (1.5+) occurs in the shallow, winter-stratified waters, where surface temperature responds faster to changing weather conditions.

Carte 4-26 16 décembre

Le début de la stratification hivernale dans la zone littorale peu profonde est marqué par l'isotherme entièrement fermé de 4 degrés. La température de surface est étroitement liée à la profondeur.

De même, le champ de variabilité est fonction de la profondeur. La variabilité est plus faible (1,0-) dans les eaux du centre où, sous l'effet du brassage convectif, les températures de surface demeurent plus constantes. On constate une variabilité supérieure (1,5+) dans les eaux peu profondes à stratification hivernale où la température de surface répond plus rapidement à la variation des conditions météorologiques.


80°
78°
76°
44°
<3
3
4
5
1.0
1.5
>5
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 4-26
LAKE ONTARIO/LAC ONTARIO
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
DECEMBER 16 DÉCEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE

SECTION 5

LAKE HURON - GEORGIAN BAY WATER TEMPERATURE REGIME

RÉGIME DES TEMPÉRATURES DE L'EAU DU LAC HURON ET DE LA BAIE GEORGIENNE

5.1 Annual Temperature Cycle

5.1.1 *Lake Huron Annual Temperature Cycle*

The Lake Huron annual temperature cycle is defined in Table 5-1A and Figure 5-1A.

The normal annual surface temperature range in Lake Huron is from 0.3 to 19.0 degrees. The monthly mean temperature ranges from 0.6 degrees in February to 18.8 degrees in August.

The period of minimum temperature (0.3 to 0.6 degrees) extends from mid-February to mid-March. In mild winters, the minimum temperature remains at about 1 degree; in cold winters, partial ice cover occurs from the second week in February to the beginning of April.

The normal maximum temperature in Lake Huron occurs during the middle part of August. In warm summers, the peak temperatures are reached early in the month. The range of the summer maximum is from 17.6 degrees in cool summers to 20.4 degrees in warm ones.

The Lake Huron temperature curve shows a 12-day period of constant temperature of 0.8 degrees from the last week in January to the first week in February. This period of constant surface water temperature is probably associated with the climatological phenomenon known as the "January thaw", which occurs on the average at this time of the year.

The largest variability in daily temperature occurs in June (standard deviation of 1.8 to 2.4 degrees), the smallest in February (standard deviation of 0.6 to 0.7 degrees).

A notable increase in temperature variability occurs from the end of March to the end of April. This is likely due to ice movements in the lake during the ice break-up and melt period. In addition to the locally-formed ice cover, primarily in Saginaw Bay and in the south end of the lake, pan ice can enter Lake Huron from Lake Michigan, Georgian Bay, and the North Channel. Subject to changes in weather and wind conditions, episodic influx of ice from the above sources takes place during the break-up period. Thus, rapid increases in the lake-wide surface temperature - attained on warm and sunny days with light (and usually southerly) winds - are reversed when a shift in wind direction favours migration of pan ice from the northern source regions toward the south end of Lake Huron.

5.1 Cycle annuel des températures

5.1.1 *Cycle annuel des températures du lac Huron*

Le cycle annuel des températures du lac Huron est défini au tableau 5-1A et à la figure 5-1A.

La fourchette normale des températures annuelles de surface dans le lac Huron va de 0,3 à 19,0 degrés. Les températures mensuelles moyennes varient de 0,6 degré en février à 18,8 degrés en août.

La période de température minimum (0,3 à 0,6 degré) s'étend de la mi-février à la mi-mars. Lorsque les hivers sont doux, la température minimum est d'environ 1 degré; lorsque les hivers sont rigoureux, une couverture partielle de glace se forme au cours de la deuxième semaine de février et dure jusqu'au début d'avril.

La température maximum normale du lac Huron s'observe au cours de la mi-août. Lorsque les étés sont chauds, les températures maximales se produisent au début du mois. La gamme des maximums estivaux varie de 17,6 degrés (étés frais) à 20,4 degrés (étés chauds).

De la dernière semaine de janvier à la première semaine de février, la température demeure à 0,8 degré pendant douze jours (voir la courbe des températures). Cette période de température constante est probablement associée au phénomène climatologique que l'on appelle le "dégel de janvier", qui se produit généralement à cette période de l'année.

La variabilité la plus marquée des températures quotidiennes se produit en juin (écart type de 1,8 à 2,4 degrés), la plus faible en février (écart type de 0,6 à 0,7 degré).

Une augmentation notable de la variabilité thermique a lieu de la fin mars à la fin avril. Cela est probablement lié à des mouvements de la glace dans le lac au cours de la débâcle et du dégel. En plus de la couverture de glace qui se forme localement, surtout dans la baie Saginaw et dans l'extrémité sud du lac, de la glace en forme de crêpes peut pénétrer dans le lac Huron en provenance du lac Michigan, de la baie Georgienne et du chenal Nord. Il se produit des apports épisodiques de glace au cours de la période du dégel, en fonction des variations des conditions météorologiques et du vent. Ainsi, des augmentations rapides des températures de surface sur tout le lac résultant de journées chaudes et ensoleillées et de vents légers (généralement du sud) s'inversent lorsqu'un changement de la direction des vents favorisent la migration de glace en forme de crêpes depuis les régions sources au nord jusqu'à l'extrémité sud du lac Huron.

TABLE 5-1A
Lake Huron Daily Mean Surface Water Temperature (Deg. C)

Day	Jan		Feb		Mar		Apr		May		Jun		Jul		Aug		Sep		Oct		Nov		Dec		Day
	T[1]	SD[2]	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	
1	3.3	0.6	0.8	0.7	0.4	0.6	1.4	1.5	3.1	0.7	6.8	1.8	13.2	2.3	18.5	1.9	18.2	1.3	13.9	1.1	9.6	1.0	5.8	0.8	1
2	3.3	0.5	0.8	0.7	0.4	0.6	1.4	1.5	3.2	0.7	7.0	1.8	13.4	2.3	18.6	1.8	18.2	1.3	13.8	1.2	9.5	0.9	5.7	0.8	2
3	3.2	0.6	0.8	0.7	0.4	0.6	1.5	1.5	3.2	0.7	7.2	1.8	13.5	2.3	18.6	1.8	18.1	1.3	13.6	1.2	9.3	0.9	5.6	0.8	3
4	3.1	0.6	0.8	0.7	0.5	0.6	1.5	1.4	3.3	0.7	7.4	1.8	13.7	2.3	18.7	1.8	18.0	1.3	13.4	1.2	9.2	1.0	5.5	0.8	4
5	2.9	0.7	0.8	0.7	0.5	0.6	1.5	1.4	3.4	0.7	7.6	1.9	13.9	2.3	18.8	1.7	17.8	1.3	13.3	1.2	9.1	0.9	5.4	0.8	5
6	2.8	0.7	0.7	0.7	0.5	0.6	1.6	1.4	3.5	0.7	7.8	1.9	14.1	2.3	18.9	1.6	17.7	1.3	13.1	1.2	8.9	0.9	5.3	0.8	6
7	2.6	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	1.6	1.4	3.6	0.7	8.1	2.0	14.2	2.3	18.9	1.6	17.6	1.3	12.9	1.2	8.8	0.9	5.2	0.8	7
8	2.5	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	1.6	1.4	3.7	0.7	8.3	2.0	14.4	2.2	19.0	1.5	17.5	1.3	12.8	1.2	8.6	0.9	5.1	0.8	8
9	2.4	0.7	0.5	0.6	0.5	0.7	1.7	1.4	3.8	0.7	8.6	2.1	14.5	2.2	19.0	1.5	17.4	1.3	12.6	1.1	8.5	0.9	5.0	0.8	9
10	2.3	0.7	0.4	0.6	0.5	0.6	1.8	1.4	3.9	0.7	8.8	2.1	14.7	2.1	19.0	1.4	17.2	1.3	12.5	1.2	8.3	0.9	4.9	0.8	10
11	2.1	0.7	0.4	0.6	0.5	0.6	1.8	1.4	3.9	0.7	9.1	2.2	14.9	2.1	19.0	1.4	17.1	1.3	12.3	1.2	8.2	0.9	4.8	0.9	11
12	1.9	0.7	0.3	0.6	0.5	0.6	1.9	1.4	4.0	0.7	9.3	2.2	15.1	2.1	19.0	1.4	17.0	1.3	12.2	1.2	8.1	0.9	4.7	0.9	12
13	1.8	0.7	0.3	0.6	0.5	0.6	2.0	1.4	4.1	0.7	9.5	2.2	15.4	2.1	19.0	1.4	16.9	1.3	12.1	1.2	7.9	0.9	4.6	0.9	13
14	1.6	0.7	0.4	0.6	0.5	0.6	2.1	1.4	4.2	0.7	9.7	2.3	15.6	2.1	19.0	1.4	16.7	1.3	12.0	1.2	7.8	0.9	4.6	0.9	14
15	1.5	0.7	0.5	0.6	0.5	0.6	2.2	1.4	4.3	0.7	10.0	2.3	15.9	2.1	19.0	1.4	16.5	1.3	11.9	1.2	7.7	0.9	4.6	0.9	15
16	1.4	0.7	0.5	0.6	0.5	0.6	2.3	1.4	4.4	0.7	10.1	2.3	16.1	2.0	19.0	1.3	16.3	1.3	11.7	1.2	7.6	0.8	4.5	0.9	16
17	1.3	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	2.3	1.3	4.5	0.8	10.3	2.4	16.4	2.0	19.0	1.4	16.2	1.3	11.6	1.2	7.4	0.8	4.4	0.9	17
18	1.3	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	2.4	1.3	4.7	0.8	10.5	2.4	16.6	2.0	18.9	1.4	16.0	1.2	11.5	1.2	7.3	0.8	4.4	0.9	18
19	1.2	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	2.4	1.3	4.8	0.8	10.6	2.4	16.9	1.9	18.9	1.4	15.9	1.2	11.3	1.2	7.2	0.8	4.3	1.0	19
20	1.1	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	2.5	1.3	5.0	0.9	10.8	2.4	17.1	1.9	18.9	1.4	15.8	1.2	11.1	1.2	7.1	0.7	4.3	1.0	20
21	1.1	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	2.5	1.2	5.1	1.0	11.0	2.4	17.3	1.9	18.8	1.4	15.6	1.2	10.9	1.2	7.0	0.7	4.2	1.0	21
22	1.0	0.7	0.6	0.6	0.7	0.8	2.5	1.1	5.3	1.1	11.2	2.4	17.5	1.9	18.8	1.4	15.5	1.2	10.8	1.2	6.8	0.7	4.1	1.0	22
23	0.9	0.7	0.5	0.6	0.7	0.9	2.5	0.9	5.4	1.1	11.4	2.4	17.7	1.9	18.7	1.4	15.4	1.2	10.7	1.1	6.7	0.7	4.0	1.0	23
24	0.9	0.8	0.5	0.6	0.8	1.0	2.6	0.8	5.5	1.1	11.7	2.4	17.8	2.0	18.7	1.5	15.2	1.1	10.5	1.1	6.6	0.7	3.8	1.0	24
25	0.8	0.7	0.5	0.6	0.9	1.2	2.6	0.7	5.6	1.1	11.9	2.4	18.0	2.0	18.6	1.4	15.1	1.1	10.4	1.1	6.4	0.7	3.7	1.0	25
26	0.8	0.7	0.5	0.6	1.0	1.3	2.6	0.6	5.8	1.2	12.2	2.4	18.1	2.0	18.5	1.4	14.9	1.1	10.4	1.1	6.3	0.7	3.5	1.1	26
27	0.8	0.7	0.5	0.6	1.1	1.4	2.7	0.6	5.9	1.3	12.5	2.4	18.2	2.0	18.5	1.4	14.7	1.0	10.3	1.1	6.2	0.7	3.2	1.1	27
28	0.8	0.7	0.4	0.6	1.2	1.4	2.8	0.6	6.1	1.4	12.7	2.4	18.2	2.0	18.4	1.4	14.5	1.1	10.1	1.1	6.1	0.7	3.3	1.1	28
29	0.8	0.7			1.2	1.4	2.9	0.6	6.3	1.5	12.9	2.4	18.3	2.0	18.4	1.4	14.3	1.1	10.0	1.0	6.0	0.7	3.2	1.1	29
30	0.8	0.7			1.3	1.4	3.0	0.6	6.4	1.6	13.1	2.3	18.3	2.0	18.3	1.3	14.1	1.1	9.9	1.0	5.9	0.7	3.2	0.8	30
31	0.8	0.7			1.3	1.5			6.6	1.7			18.4	1.9	18.3	1.3			9.7	1.0			3.3	0.6	31
Mean	1.7	0.7	0.6	0.6	0.7	0.8	2.1	1.2	4.6	0.9	9.9	2.2	16.0	2.1	18.8	1.5	16.4	1.2	11.7	1.2	7.7	0.8	4.5	0.9	

[1] = mean temperature (Deg. C)
[2] = standard deviation of mean temperature (Deg. C)

TABLEAU 5-1A

Températures quotidiennes moyennes des eaux de surface du lac Huron (degrés C)

jour	janv. T[1]	janv. ÉT[2]	fév. T	fév. ÉT	mars T	mars ÉT	avr. T	avr. ÉT	mai T	mai ÉT	juin T	juin ÉT	juil. T	juil. ÉT	août T	août ÉT	sept. T	sept. ÉT	oct. T	oct. ÉT	nov. T	nov. ÉT	déc. T	déc. ÉT	jour
1	3,3	0,6	0,8	0,7	0,4	0,6	1,4	1,5	3,1	0,7	6,8	1,8	13,2	2,3	18,5	1,9	18,2	1,3	13,9	1,1	9,6	1,0	5,8	0,8	1
2	3,3	0,5	0,8	0,7	0,4	0,6	1,4	1,5	3,2	0,7	7,0	1,8	13,4	2,3	18,6	1,8	18,2	1,3	13,8	1,2	9,5	0,9	5,7	0,8	2
3	3,2	0,6	0,8	0,7	0,4	0,6	1,5	1,5	3,2	0,7	7,2	1,8	13,5	2,3	18,6	1,8	18,1	1,3	13,6	1,2	9,3	0,9	5,6	0,8	3
4	3,1	0,6	0,8	0,7	0,5	0,6	1,5	1,4	3,3	0,7	7,4	1,8	13,7	2,3	18,7	1,8	18,0	1,3	13,4	1,2	9,2	1,0	5,5	0,8	4
5	2,9	0,7	0,8	0,7	0,5	0,6	1,5	1,4	3,4	0,7	7,6	1,9	13,9	2,3	18,8	1,7	17,8	1,3	13,3	1,2	9,1	0,9	5,4	0,8	5
6	2,8	0,7	0,7	0,7	0,5	0,6	1,6	1,4	3,5	0,7	7,8	1,9	14,1	2,3	18,9	1,6	17,7	1,3	13,1	1,2	8,9	0,9	5,3	0,8	6
7	2,6	0,7	0,7	0,6	0,5	0,6	1,6	1,4	3,6	0,7	8,1	2,0	14,2	2,3	18,9	1,6	17,6	1,3	12,9	1,2	8,8	0,9	5,2	0,8	7
8	2,5	0,7	0,6	0,6	0,5	0,6	1,6	1,4	3,7	0,7	8,3	2,0	14,4	2,2	19,0	1,5	17,5	1,3	12,8	1,2	8,6	0,9	5,1	0,8	8
9	2,4	0,7	0,5	0,6	0,5	0,7	1,7	1,4	3,8	0,7	8,6	2,1	14,5	2,2	19,0	1,5	17,4	1,3	12,6	1,1	8,5	0,9	5,0	0,8	9
10	2,3	0,7	0,4	0,6	0,5	0,6	1,8	1,4	3,9	0,7	8,8	2,1	14,7	2,1	19,0	1,4	17,2	1,3	12,5	1,2	8,3	0,9	4,9	0,8	10
11	2,1	0,7	0,4	0,6	0,5	0,6	1,8	1,4	3,9	0,7	9,1	2,2	14,9	2,1	19,0	1,4	17,1	1,3	12,3	1,2	8,2	0,9	4,8	0,9	11
12	1,9	0,7	0,3	0,6	0,5	0,6	1,9	1,4	4,0	0,7	9,3	2,2	15,1	2,1	19,0	1,4	17,0	1,3	12,2	1,2	8,1	0,9	4,7	0,9	12
13	1,8	0,7	0,3	0,6	0,5	0,6	2,0	1,4	4,1	0,7	9,5	2,2	15,4	2,1	19,0	1,4	16,9	1,3	12,1	1,2	7,9	0,9	4,6	0,9	13
14	1,6	0,7	0,4	0,6	0,5	0,6	2,1	1,4	4,2	0,7	9,7	2,3	15,6	2,1	19,0	1,4	16,7	1,3	12,0	1,2	7,8	0,9	4,6	0,9	14
15	1,5	0,7	0,5	0,6	0,5	0,6	2,2	1,4	4,3	0,7	10,0	2,3	15,9	2,1	19,0	1,4	16,5	1,3	11,9	1,2	7,7	0,9	4,6	0,9	15
16	1,4	0,7	0,5	0,6	0,5	0,6	2,3	1,4	4,4	0,7	10,1	2,3	16,1	2,0	19,0	1,3	16,3	1,3	11,7	1,2	7,6	0,8	4,5	0,9	16
17	1,3	0,7	0,6	0,6	0,5	0,6	2,3	1,3	4,5	0,8	10,3	2,4	16,4	2,0	19,0	1,4	16,2	1,3	11,6	1,2	7,4	0,8	4,4	0,9	17
18	1,3	0,7	0,6	0,6	0,5	0,6	2,4	1,3	4,7	0,8	10,5	2,4	16,6	2,0	18,9	1,4	16,0	1,2	11,5	1,2	7,3	0,8	4,4	0,9	18
19	1,2	0,7	0,6	0,6	0,5	0,6	2,4	1,3	4,8	0,8	10,6	2,4	16,9	1,9	18,9	1,4	15,9	1,2	11,3	1,2	7,2	0,8	4,3	1,0	19
20	1,1	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	2,5	1,3	5,0	0,9	10,8	2,4	17,1	1,9	18,9	1,4	15,8	1,2	11,1	1,2	7,1	0,7	4,3	1,0	20
21	1,1	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	2,5	1,2	5,1	1,0	11,0	2,4	17,3	1,9	18,8	1,4	15,6	1,2	10,9	1,2	7,0	0,7	4,2	1,0	21
22	1,0	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8	2,5	1,1	5,3	1,1	11,2	2,4	17,5	1,9	18,8	1,4	15,5	1,2	10,8	1,2	6,8	0,7	4,1	1,0	22
23	0,9	0,7	0,5	0,6	0,7	0,9	2,5	0,9	5,4	1,1	11,4	2,4	17,7	1,9	18,7	1,4	15,4	1,2	10,7	1,1	6,7	0,7	4,0	1,0	23
24	0,9	0,8	0,5	0,6	0,8	1,0	2,6	0,8	5,5	1,1	11,7	2,4	17,8	2,0	18,7	1,5	15,2	1,1	10,5	1,1	6,6	0,7	3,8	1,0	24
25	0,8	0,7	0,5	0,6	0,9	1,2	2,6	0,7	5,6	1,1	11,9	2,4	18,0	2,0	18,6	1,4	15,1	1,1	10,4	1,1	6,4	0,7	3,7	1,0	25
26	0,8	0,7	0,5	0,6	1,0	1,3	2,6	0,6	5,8	1,2	12,2	2,4	18,1	2,0	18,5	1,4	14,9	1,1	10,4	1,1	6,3	0,7	3,5	1,1	26
27	0,8	0,7	0,5	0,6	1,1	1,4	2,7	0,6	5,9	1,3	12,5	2,4	18,2	2,0	18,5	1,4	14,7	1,0	10,3	1,1	6,2	0,7	3,2	1,1	27
28	0,8	0,7	0,4	0,6	1,2	1,4	2,8	0,6	6,1	1,4	12,7	2,4	18,2	2,0	18,4	1,4	14,5	1,1	10,1	1,1	6,1	0,7	3,3	1,1	28
29	0,8	0,7			1,2	1,4	2,9	0,6	6,3	1,5	12,9	2,4	18,3	2,0	18,4	1,4	14,3	1,1	10,0	1,0	6,0	0,7	3,2	1,1	29
30	0,8	0,7			1,3	1,4	3,0	0,6	6,4	1,6	13,1	2,3	18,3	2,0	18,3	1,3	14,1	1,1	9,9	1,0	5,9	0,7	3,2	0,8	30
31	0,8	0,7			1,3	1,5			6,6	1,7			18,4	1,9	18,3	1,3			9,7	1,0			3,3	0,6	31
moyenne	1,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8	2,1	1,2	4,6	0,9	9,9	2,2	16,0	2,1	18,8	1,5	16,4	1,2	11,7	1,2	7,7	0,8	4,5	0,9	

[1] = température moyenne (degré C)

[2] = écart type moyen (degré C)

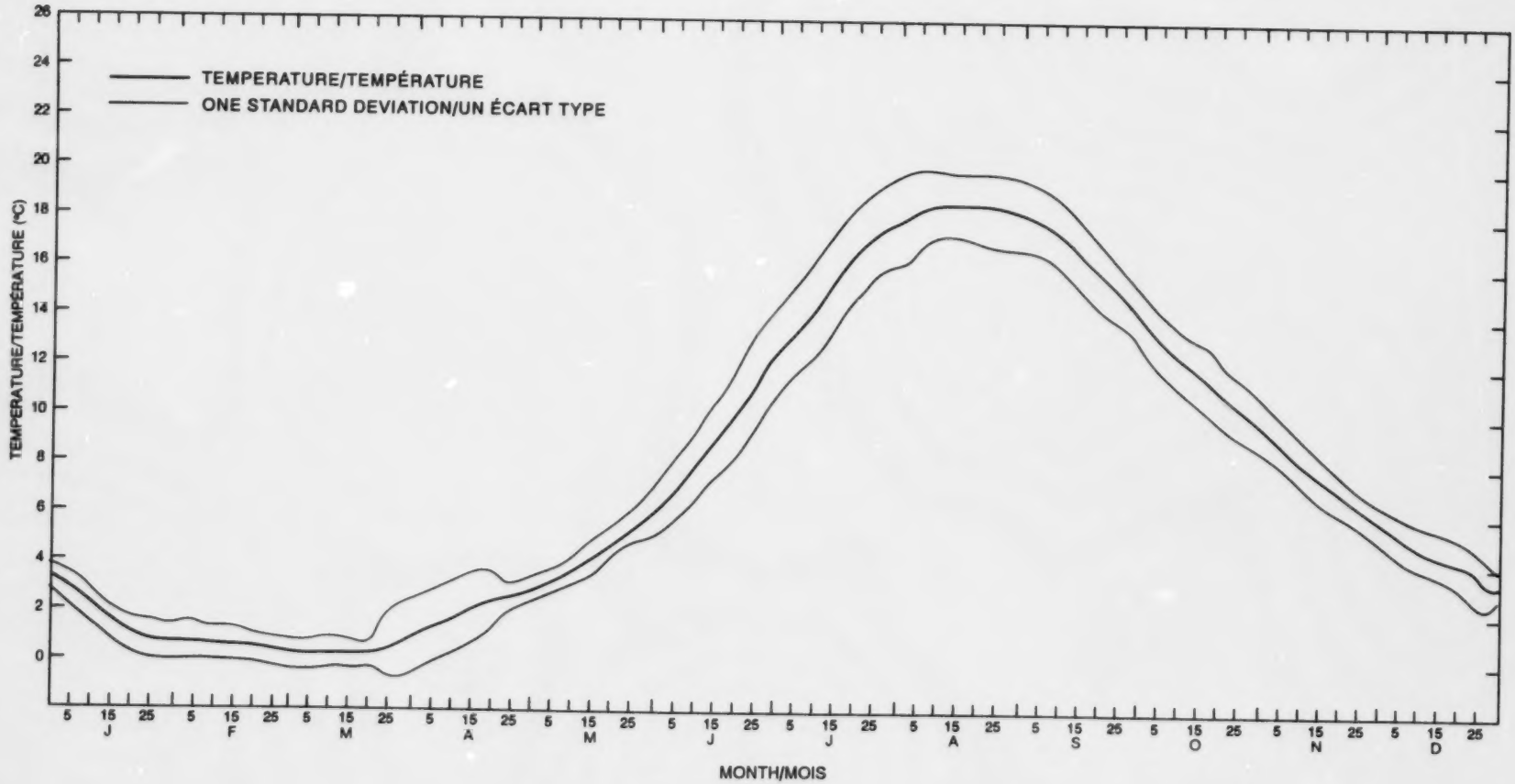


FIGURE 5-1A Lake Huron annual surface water temperature curve

Courbe du cycle annuel des températures des eaux de surface du lac Huron

5.1.2 *Georgian Bay Annual Temperature Cycle*

The Georgian Bay annual temperature cycle is defined in Table 5-1B and Figure 5-1B.

The normal annual surface temperature range in Georgian Bay is from -0.2 to 19.0 degrees. The negative surface temperature in February and March is due to ice cover that normally develops on Georgian Bay in winter. The monthly mean surface temperature ranges from 0.0 degrees in February to 18.7 degrees in August.

The period of minimum temperature lasts from the second week of February to the first week of March. In mild winters, the minimum temperature remains at 0.2 to 0.4 degrees; in cold winters, the lake is mostly ice-covered from the beginning of February to the end of March.

The effect of the "January thaw" shows up as a slight rise on the temperature curve at the beginning of February.

The normal maximum temperature occurs around mid-August; the normal range of the summer maximum is from 17.4 to 20.6 degrees.

The largest normal variability in daily temperature occurs in June (standard deviation of 1.6 to 2.4 degrees). The smallest temperature variability (standard deviation of 0.3 to 0.4 degrees) occurs in December, when the lake-wide temperature approaches 4 degrees and the water mass is mixing freely, and also during the winter period from mid-January to mid-March.

5.1.2 *Cycle annuel des températures de la baie Georgienne*

Le cycle annuel des températures dans la baie Georgienne est présenté au tableau 5-1B et à la figure 5-1B.

Les températures de surface annuelles normales dans la baie Georgienne varient de -0,2 à 19,0 degrés. Les températures de surface sont inférieures à 0 en février et en mars à cause de la présence de la couverture de glace qui se forme normalement sur la baie Georgienne en hiver. Les températures mensuelles moyennes varient entre 0,0 degré en février et 18,7 degrés en août.

La période du minimum dure de la deuxième semaine de février à la première semaine de mars. Lorsque les hivers sont doux, les températures minimums oscillent entre 0,1 et 0,4 degré; lorsque les hivers sont rigoureux, le lac est presque entièrement couvert de glace du début de février à la fin de mars.

L'effet du "dégel de janvier" se traduit par une légère augmentation de la courbe des températures au début de février.

Le maximum normal se produit vers la mi-août; le maximum estival normal varie de 17,4 à 20,6 degrés.

La plus importante variabilité normale des températures quotidiennes se produit en juin (écart type de 1,6 à 2,4 degrés). La plus faible variabilité (écart type de 0,3 à 0,4 degré) a lieu en décembre, lorsque la température de tout le lac s'approche de 4 degrés et que la masse d'eau se mélange librement; on constate aussi un minimum de variabilité entre la mi-janvier et la mi-mars.

TABLE 5-1B
Georgian Bay Daily Mean Surface Water Temperature (Deg. C)

Day	Jan		Feb		Mar		Apr		May		Jun		Jul		Aug		Sep		Oct		Nov		Dec		Day
	T[1]	SD[2]	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	
1	2.8	0.4	0.3	0.4	-0.1	0.4	0.6	0.6	2.2	0.6	6.6	1.6	13.2	2.3	18.3	1.6	18.1	1.5	13.9	1.1	9.8	1.1	6.2	0.5	1
2	2.6	0.5	0.3	0.4	-0.1	0.4	0.7	0.6	2.3	0.6	6.7	1.7	13.4	2.3	18.3	1.6	17.9	1.5	13.9	1.1	9.7	1.1	6.1	0.5	2
3	2.5	0.5	0.2	0.4	-0.1	0.4	0.7	0.6	2.4	0.6	6.9	1.7	13.6	2.3	18.4	1.6	17.8	1.5	13.8	1.1	9.6	1.1	6.0	0.5	3
4	2.5	0.5	0.2	0.4	-0.1	0.4	0.7	0.6	2.5	0.6	7.1	1.7	13.8	2.2	18.4	1.6	17.7	1.4	13.6	1.1	9.5	1.1	5.9	0.5	4
5	2.5	0.7	0.3	0.4	-0.1	0.4	0.7	0.6	2.6	0.6	7.4	1.7	14.1	2.2	18.5	1.6	17.6	1.4	13.5	1.1	9.4	1.1	5.8	0.5	5
6	2.5	0.8	0.2	0.4	-0.1	0.4	0.8	0.6	2.7	0.6	7.6	1.8	14.3	2.2	18.6	1.6	17.4	1.4	13.3	1.0	9.2	1.1	5.7	0.5	6
7	2.4	0.8	0.2	0.4	-0.1	0.4	0.8	0.6	2.8	0.7	7.8	1.9	14.5	2.2	18.7	1.6	17.2	1.4	13.2	1.0	9.1	1.1	5.6	0.5	7
8	2.4	0.7	0.1	0.4	0.0	0.4	0.8	0.6	2.8	0.7	8.1	2.0	14.7	2.1	18.8	1.5	17.1	1.4	13.1	1.0	9.0	1.1	5.5	0.5	8
9	2.3	0.7	0.0	0.4	0.0	0.4	0.9	0.6	2.9	0.7	8.3	2.0	14.9	2.0	18.9	1.5	17.0	1.4	12.9	1.0	8.8	1.1	5.4	0.6	9
10	2.2	0.7	-0.1	0.4	0.0	0.4	0.9	0.6	3.1	0.7	8.5	2.1	15.2	2.0	18.9	1.5	16.9	1.4	12.8	1.0	8.7	1.1	5.3	0.6	10
11	1.9	0.7	-0.1	0.4	0.0	0.4	1.0	0.6	3.2	0.7	8.7	2.2	15.4	1.9	18.9	1.5	16.7	1.4	12.7	1.0	8.6	1.1	5.2	0.6	11
12	1.7	0.6	-0.2	0.4	0.0	0.4	1.0	0.7	3.3	0.7	8.9	2.2	15.7	1.9	18.9	1.5	16.6	1.4	12.6	1.0	8.5	1.0	5.1	0.6	12
13	1.5	0.6	-0.2	0.4	0.0	0.4	1.1	0.7	3.4	0.6	9.2	2.2	16.0	1.8	18.9	1.6	16.5	1.4	12.5	1.1	8.3	1.0	5.0	0.6	13
14	1.3	0.5	-0.2	0.4	0.0	0.4	1.1	0.7	3.5	0.6	9.4	2.2	16.2	1.8	18.9	1.6	16.3	1.4	12.4	1.1	8.2	0.9	5.0	0.5	14
15	1.2	0.5	-0.2	0.4	0.0	0.4	1.2	0.7	3.6	0.6	9.6	2.3	16.4	1.8	18.9	1.6	16.1	1.3	12.2	1.1	8.1	0.8	4.9	0.5	15
16	1.0	0.4	-0.2	0.4	0.0	0.4	1.2	0.7	3.7	0.6	9.8	2.3	16.6	1.7	18.9	1.6	16.0	1.2	12.1	1.2	7.9	0.8	4.8	0.5	16
17	1.0	0.4	-0.1	0.4	0.1	0.4	1.3	0.7	3.8	0.7	10.1	2.4	16.7	1.7	19.0	1.6	15.8	1.2	11.9	1.2	7.9	0.7	4.7	0.5	17
18	1.0	0.4	-0.1	0.4	0.1	0.4	1.4	0.7	4.0	0.8	10.3	2.4	16.9	1.6	19.0	1.6	15.7	1.2	11.8	1.2	7.8	0.7	4.7	0.4	18
19	1.0	0.4	-0.1	0.4	0.1	0.4	1.4	0.7	4.2	0.8	10.5	2.4	17.0	1.6	19.0	1.6	15.6	1.1	11.6	1.2	7.6	0.7	4.6	0.4	19
20	1.0	0.4	-0.1	0.4	0.2	0.4	1.5	0.7	4.3	0.9	10.7	2.4	17.2	1.6	19.0	1.6	15.4	1.1	11.5	1.2	7.5	0.6	4.5	0.3	20
21	0.9	0.5	-0.1	0.4	0.2	0.5	1.5	0.7	4.5	1.0	10.9	2.4	17.3	1.5	18.9	1.6	15.3	1.1	11.4	1.2	7.3	0.6	4.3	0.3	21
22	0.8	0.5	-0.1	0.4	0.2	0.5	1.6	0.7	4.7	1.1	11.1	2.4	17.4	1.5	18.9	1.7	15.2	1.1	11.2	1.2	7.2	0.6	4.2	0.3	22
23	0.8	0.5	-0.1	0.4	0.3	0.5	1.6	0.7	4.8	1.1	11.4	2.4	17.6	1.5	18.9	1.7	15.1	1.1	11.1	1.2	7.0	0.6	4.1	0.4	23
24	0.7	0.5	-0.1	0.4	0.3	0.5	1.7	0.7	5.0	1.1	11.6	2.4	17.7	1.5	18.8	1.7	15.0	1.1	10.9	1.2	6.9	0.6	3.9	0.4	24
25	0.7	0.5	-0.1	0.4	0.4	0.6	1.7	0.6	5.2	1.1	11.9	2.4	17.8	1.5	18.7	1.7	14.9	1.0	10.8	1.2	6.8	0.6	3.7	0.5	25
26	0.7	0.5	-0.1	0.4	0.4	0.6	1.8	0.6	5.3	1.2	12.2	2.4	17.8	1.5	18.6	1.7	14.8	1.0	10.6	1.2	6.7	0.6	3.5	0.6	26
27	0.7	0.4	-0.1	0.4	0.4	0.6	1.8	0.6	5.5	1.3	12.5	2.4	17.9	1.5	18.5	1.6	14.7	1.0	10.5	1.2	6.6	0.6	3.4	0.6	27
28	0.6	0.3	-0.1	0.4	0.5	0.6	1.9	0.6	5.7	1.4	12.7	2.4	18.0	1.5	18.4	1.6	14.5	1.0	10.4	1.2	6.5	0.6	3.3	0.6	28
29	0.4	0.3			0.5	0.6	2.0	0.6	5.9	1.4	12.9	2.4	18.1	1.5	18.3	1.6	14.4	1.0	10.3	1.1	6.4	0.5	3.1	0.6	29
30	0.3	0.2			0.6	0.6	2.1	0.6	6.0	1.5	13.1	2.3	18.2	1.5	18.2	1.6	14.2	1.0	10.1	1.1	6.3	0.5	3.0	0.6	30
31	0.2	0.2			0.6	0.6			6.3	1.6			18.2	1.5	18.1	1.6			10.0	1.1			2.9	0.4	31
Mean	1.4	0.5	0.0	0.4	0.1	0.5	1.3	0.6	3.9	0.9	9.8	2.2	16.2	1.8	18.7	1.6	16.1	1.2	12.0	1.1	8.0	0.8	4.7	0.5	

[1] = Mean temperature (Deg. C)
[2] = Standard deviation of mean temperature (Deg. C)

TABLEAU 5-1B

Températures quotidiennes moyennes des eaux de surface de la baie Georgienne (degrés C)

jour	janv. T[1]	janv. ÉT[2]	fév. T	fév. ÉT	mars T	mars ÉT	avr. T	avr. ÉT	mai T	mai ÉT	juin T	juin ÉT	juil. T	juil. ÉT	août T	août ÉT	sept. T	sept. ÉT	oct. T	oct. ÉT	nov. T	nov. ÉT	déc. T	déc. ÉT	jour
1	2,8	0,4	0,3	0,4	-0,1	0,4	0,6	0,6	2,2	0,6	6,6	1,6	13,2	2,3	18,3	1,6	18,1	1,5	13,9	1,1	9,8	1,1	6,2	0,5	1
2	2,6	0,5	0,3	0,4	-0,1	0,4	0,7	0,6	2,3	0,6	6,7	1,7	13,4	2,3	18,3	1,6	17,9	1,5	13,9	1,1	9,7	1,1	6,1	0,5	2
3	2,5	0,5	0,2	0,4	-0,1	0,4	0,7	0,6	2,4	0,6	6,9	1,7	13,6	2,3	18,4	1,6	17,8	1,5	13,8	1,1	9,6	1,1	6,0	0,5	3
4	2,5	0,5	0,2	0,4	-0,1	0,4	0,7	0,6	2,5	0,6	7,1	1,7	13,8	2,2	18,4	1,6	17,7	1,4	13,6	1,1	9,5	1,1	5,9	0,5	4
5	2,5	0,7	0,3	0,4	-0,1	0,4	0,7	0,6	2,6	0,6	7,4	1,7	14,1	2,2	18,5	1,6	17,6	1,4	13,5	1,1	9,4	1,1	5,8	0,5	5
6	2,5	0,8	0,2	0,4	-0,1	0,4	0,8	0,6	2,7	0,6	7,6	1,8	14,3	2,2	18,6	1,6	17,4	1,4	13,3	1,0	9,2	1,1	5,7	0,5	6
7	2,4	0,8	0,2	0,4	-0,1	0,4	0,8	0,6	2,8	0,7	7,8	1,9	14,5	2,2	18,7	1,6	17,2	1,4	13,2	1,0	9,1	1,1	5,6	0,5	7
8	2,4	0,7	0,1	0,4	0,0	0,4	0,8	0,6	2,8	0,7	8,1	2,0	14,7	2,1	18,8	1,5	17,1	1,4	13,1	1,0	9,0	1,1	5,5	0,5	8
9	2,3	0,7	0,0	0,4	0,0	0,4	0,9	0,6	2,9	0,7	8,3	2,0	14,9	2,0	18,9	1,5	17,0	1,4	12,9	1,0	8,8	1,1	5,4	0,6	9
10	2,2	0,7	-0,1	0,4	0,0	0,4	0,9	0,6	3,1	0,7	8,5	2,1	15,2	2,0	18,9	1,5	16,9	1,4	12,8	1,0	8,7	1,1	5,3	0,6	10
11	1,9	0,7	-0,1	0,4	0,0	0,4	1,0	0,6	3,2	0,7	8,7	2,2	15,4	1,9	18,9	1,5	16,7	1,4	12,7	1,0	8,6	1,1	5,2	0,6	11
12	1,7	0,6	-0,2	0,4	0,0	0,4	1,0	0,7	3,3	0,7	8,9	2,2	15,7	1,9	18,9	1,5	16,6	1,4	12,6	1,0	8,5	1,0	5,1	0,6	12
13	1,5	0,6	-0,2	0,4	0,0	0,4	1,1	0,7	3,4	0,6	9,2	2,2	16,0	1,8	18,9	1,6	16,5	1,4	12,5	1,1	8,3	1,0	5,0	0,6	13
14	1,3	0,5	-0,2	0,4	0,0	0,4	1,1	0,7	3,5	0,6	9,4	2,2	16,2	1,8	18,9	1,6	16,3	1,4	12,4	1,1	8,2	0,9	5,0	0,5	14
15	1,2	0,5	-0,2	0,4	0,0	0,4	1,2	0,7	3,6	0,6	9,6	2,3	16,4	1,8	18,9	1,6	16,1	1,3	12,2	1,1	8,1	0,8	4,9	0,5	15
16	1,0	0,4	-0,2	0,4	0,0	0,4	1,2	0,7	3,7	0,6	9,8	2,3	16,6	1,7	18,9	1,6	16,0	1,2	12,1	1,2	7,9	0,8	4,8	0,5	16
17	1,0	0,4	-0,1	0,4	0,1	0,4	1,3	0,7	3,8	0,7	10,1	2,4	16,7	1,7	19,0	1,6	15,8	1,2	11,9	1,2	7,9	0,7	4,7	0,5	17
18	1,0	0,4	-0,1	0,4	0,1	0,4	1,4	0,7	4,0	0,8	10,3	2,4	16,9	1,6	19,0	1,6	15,7	1,2	11,8	1,2	7,8	0,7	4,7	0,4	18
19	1,0	0,4	-0,1	0,4	0,1	0,4	1,4	0,7	4,2	0,8	10,5	2,4	17,0	1,6	19,0	1,6	15,6	1,1	11,6	1,2	7,6	0,7	4,6	0,4	19
20	1,0	0,4	-0,1	0,4	0,2	0,4	1,5	0,7	4,3	0,9	10,7	2,4	17,2	1,6	19,0	1,6	15,4	1,1	11,5	1,2	7,5	0,6	4,5	0,3	20
21	0,9	0,5	-0,1	0,4	0,2	0,5	1,5	0,7	4,5	1,0	10,9	2,4	17,3	1,5	18,9	1,6	15,3	1,1	11,4	1,2	7,3	0,6	4,3	0,3	21
22	0,8	0,5	-0,1	0,4	0,2	0,5	1,6	0,7	4,7	1,1	11,1	2,4	17,4	1,5	18,9	1,7	15,2	1,1	11,2	1,2	7,2	0,6	4,2	0,3	22
23	0,8	0,5	-0,1	0,4	0,3	0,5	1,6	0,7	4,8	1,1	11,4	2,4	17,6	1,5	18,9	1,7	15,1	1,1	11,1	1,2	7,0	0,6	4,1	0,4	23
24	0,7	0,5	-0,1	0,4	0,3	0,5	1,7	0,7	5,0	1,1	11,6	2,4	17,7	1,5	18,8	1,7	15,0	1,1	10,9	1,2	6,9	0,6	3,9	0,4	24
25	0,7	0,5	-0,1	0,4	0,4	0,6	1,7	0,6	5,2	1,1	11,9	2,4	17,8	1,5	18,7	1,7	14,9	1,0	10,8	1,2	6,8	0,6	3,7	0,5	25
26	0,7	0,5	-0,1	0,4	0,4	0,6	1,8	0,6	5,3	1,2	12,2	2,4	17,8	1,5	18,6	1,7	14,8	1,0	10,6	1,2	6,7	0,6	3,5	0,6	26
27	0,7	0,4	-0,1	0,4	0,4	0,6	1,8	0,6	5,5	1,3	12,5	2,4	17,9	1,5	18,5	1,6	14,7	1,0	10,5	1,2	6,6	0,6	3,4	0,6	27
28	0,6	0,3	-0,1	0,4	0,5	0,6	1,9	0,6	5,7	1,4	12,7	2,4	18,0	1,5	18,4	1,6	14,5	1,0	10,4	1,2	6,5	0,6	3,3	0,6	28
29	0,4	0,3			0,5	0,6	2,0	0,6	5,9	1,4	12,9	2,4	18,1	1,5	18,3	1,6	14,4	1,0	10,3	1,1	6,4	0,5	3,1	0,6	29
30	0,3	0,2			0,6	0,6	2,1	0,6	6,0	1,5	13,1	2,3	18,2	1,5	18,2	1,6	14,2	1,0	10,1	1,1	6,3	0,5	3,0	0,6	30
31	0,2	0,2			0,6	0,6			6,3	1,6			18,2	1,5	18,1	1,6			10,0	1,1			2,9	0,4	31
moyenne	1,4	0,5	0,0	0,4	0,1	0,5	1,3	0,6	3,9	0,9	9,8	2,2	16,2	1,8	18,7	1,6	16,1	1,2	12,0	1,1	8,0	0,8	4,7	0,5	

[1] = température moyenne (degré C)
[2] = écart type moyen (degré C)

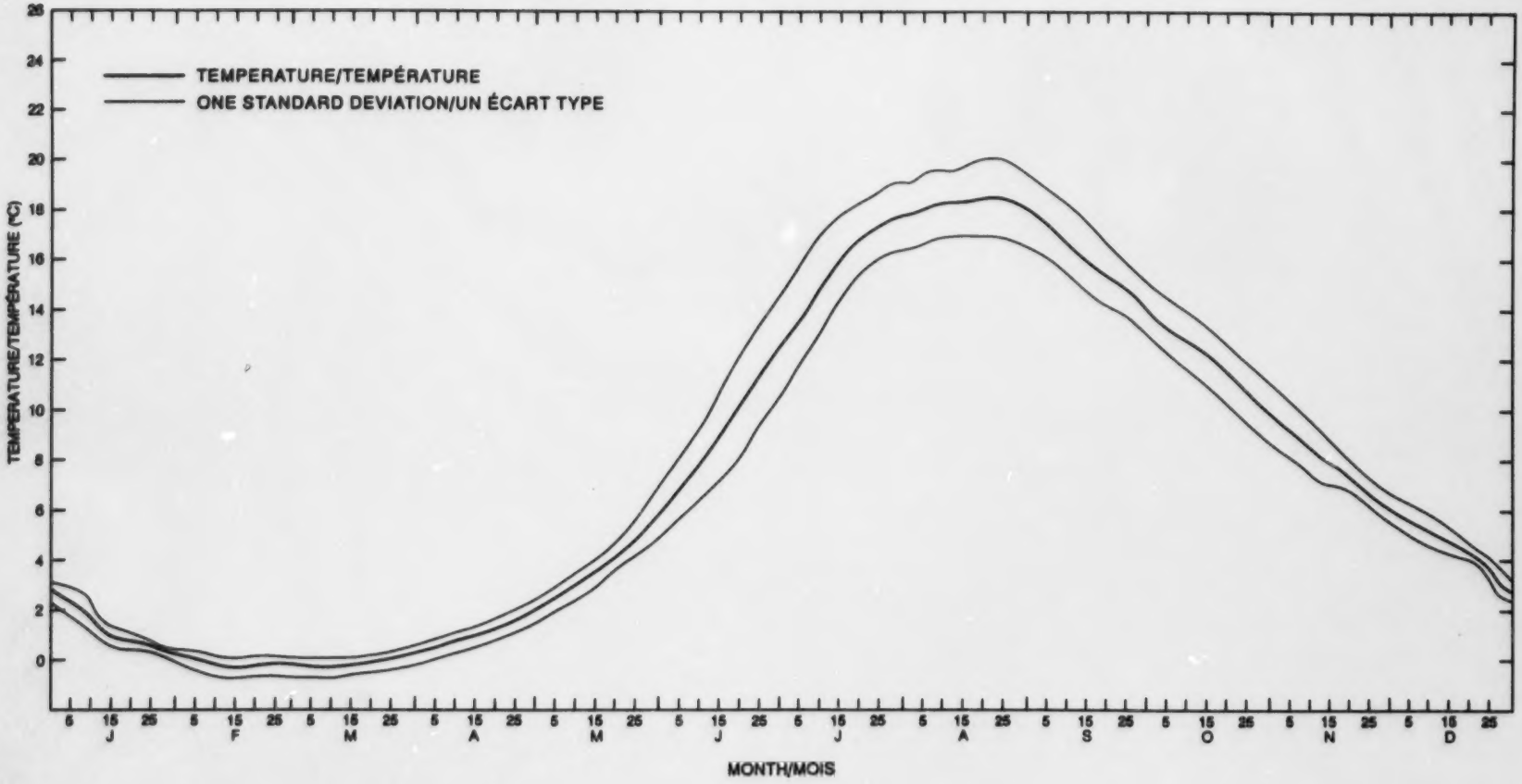


FIGURE 5-1B Georgian Bay annual surface water temperature curve

Courbe du cycle annuel des températures des eaux de surface de la baie Georgienne

5.2 Lake Huron and Georgian Bay Surface Water Temperature Structure

Lake Huron and Georgian Bay surface water temperature and temperature variability are discussed with reference to Maps 5-1 to 5-26. Lake Huron and Georgian Bay grid point locations are shown on Map 5-1. Lake Huron depth is shown on Map 5-2A, Georgian Bay depth on Map 5-2B. Maps 5-3 to 5-26 show the beginning-of-month and middle-of-month surface water temperature and temperature variability structure. Brief remarks on the major structural features of the surface temperature and variability field of each map are given below.

Map 5-3 January 1

Development of winter stratification is in progress in Lake Huron and Georgian Bay. Ice is normally found in the shallow Saginaw Bay of Lake Huron and along the northeast shore of Georgian Bay. The isotherm pattern is depth-related (compare with Maps 5-2A and 5-2B).

The temperature variability range is small, from 0.5- to 1.0+ degrees. The smallest variability (0.5- degrees) is found in the deepest regions where mixing in the unstratified water mass maintains a nearly constant surface temperature.

Variability of less than 0.5 degrees coincides with temperature of less than 0 degrees in the northeast corner of Georgian Bay, indicating that this stretch of the near-shore zone is usually completely ice-covered at this time. The less than 0.5-degree variability along the northwest shore of Georgian Bay (GP1 to GP15 on Map 5-1) is probably due to prevalent upwelling of warmer water which keeps the surface temperature within a narrow range.

A distinctive elongated variability high (1.0+) in Georgian Bay extends from GP1 southeastward to GP30 (refer to Map 5-1) between the 0-degree and 1-degree isotherms. This feature delineates a zone of very changeable surface conditions, due to the shifting of the edge of the pack ice in response to changes in wind direction.

5.2 Structure des températures des eaux de surface du lac Huron et de la baie Georgienne

Nous traiterons ici des températures des eaux de surface du lac Huron et de la baie Georgienne et de la variabilité de ces températures (voir cartes 5-1 à 5-26). Les emplacements des points de grille sur le lac Huron et la baie Georgienne sont présentés à la carte 5-1. Les cartes 5-2 sont des cartes bathymétriques du lac Huron (5-2A) et de la baie Georgienne (5-2B). Les cartes 5-3 à 5-26 illustrent la structure des températures des eaux de surface et de la variabilité de ces températures au début et au milieu de chaque mois. Nous présentons ci-dessous de brèves remarques sur les principales caractéristiques du champ des températures de surface et de la variabilité pour chacune des cartes.

Carte 5-3 1er janvier

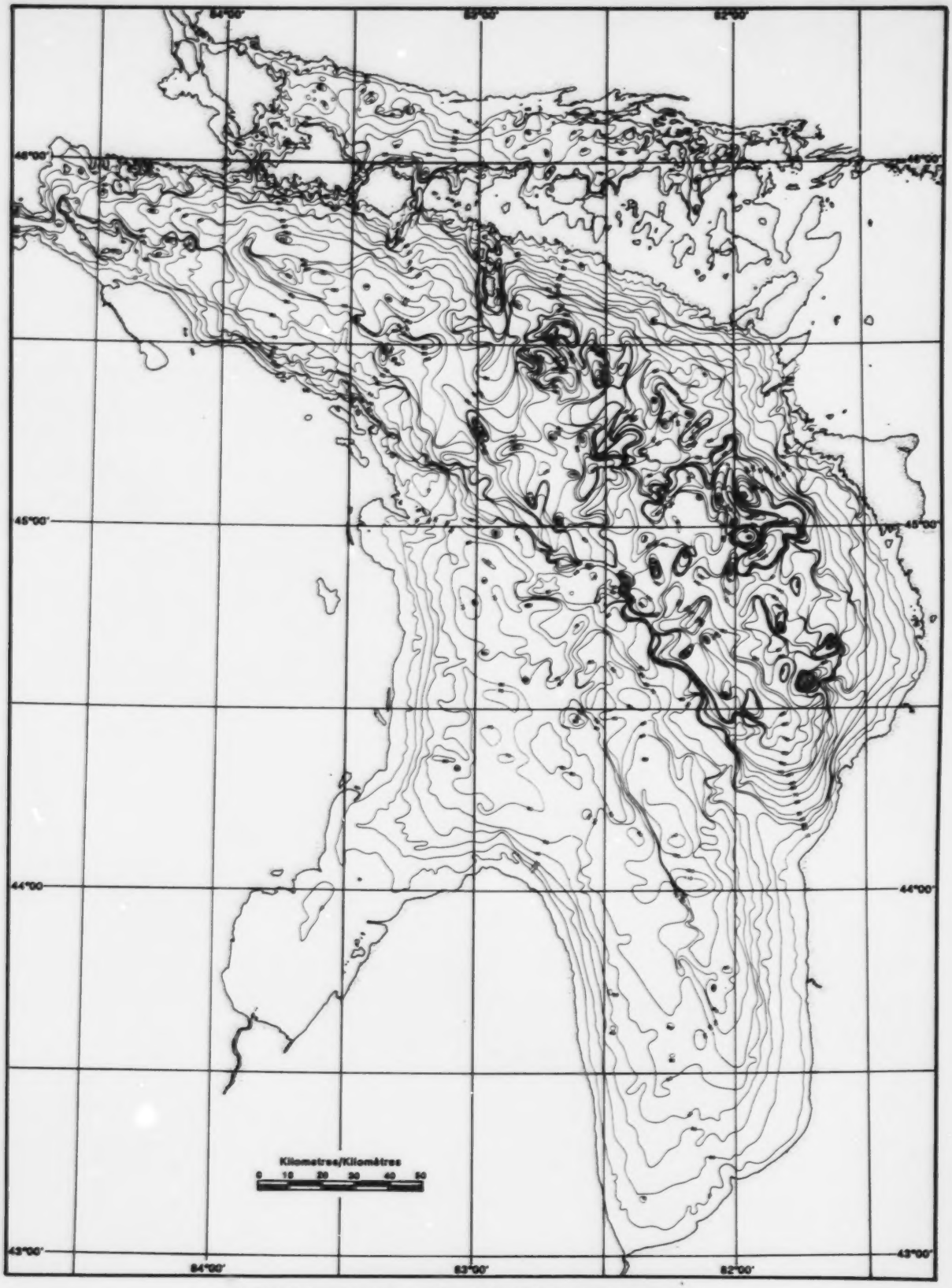
Le développement de la stratification hivernale progresse dans le lac Huron et la baie Georgienne. On constate généralement la présence de glace dans la baie Saginaw, partie peu profonde du lac Huron, et le long de la rive nord-est de la baie Georgienne. Le régime des isothermes est associé à la profondeur (comparer avec les cartes 5-2A et 5-2B).

L'amplitude de la variabilité thermique est faible (0,5- à 1,0+ degré). La variabilité la plus faible (0,5- degré) se trouve dans les régions les plus profondes où le brassage dans la masse d'eau non stratifiée maintient une température de surface quasi constante.

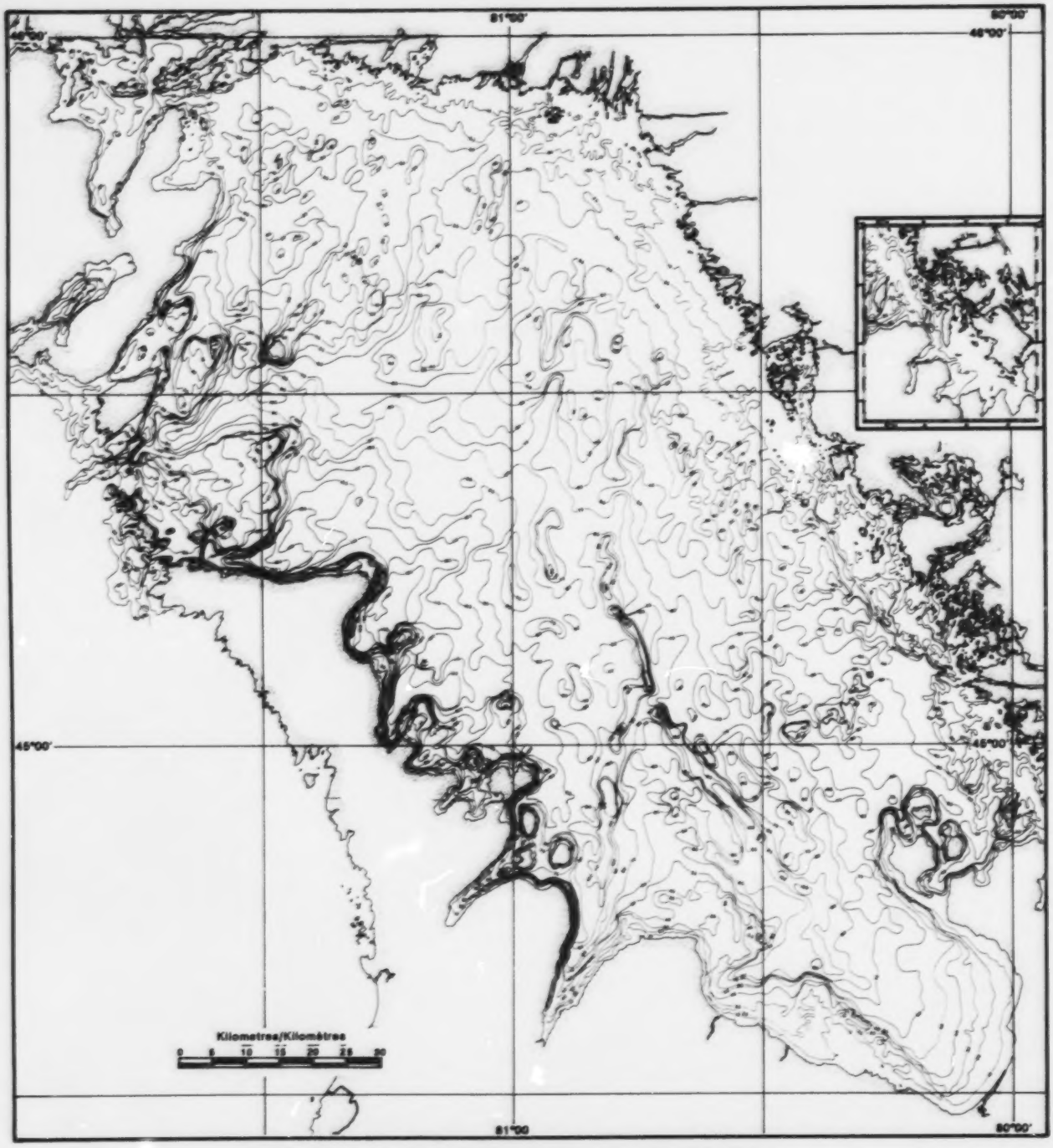
La variabilité inférieure à 0,5 degré correspond à une température inférieure à 0 degré dans le coin nord-est de la baie Georgienne, ce qui révèle que cette partie de la zone littorale est en général entièrement couverte de glace à cette période. La variabilité inférieure à 0,5- degré le long de la rive nord-ouest de la baie Georgienne (PG1 à PG15, carte 5-1) est probablement due aux remontées d'eau plus chaude qui font que la température de surface varie peu.

Un maximum de variabilité marqué (1,0+), de forme allongée, s'observe dans la baie Georgienne depuis PG1, vers le sud-est, jusqu'à PG30 (voir la carte 5-1) entre les isothermes de 0 et de 1 degré. Ce maximum délimite une zone où les conditions de surface sont très variables à cause des déplacements de la bordure du pack, en réponse aux modifications de la direction du vent.

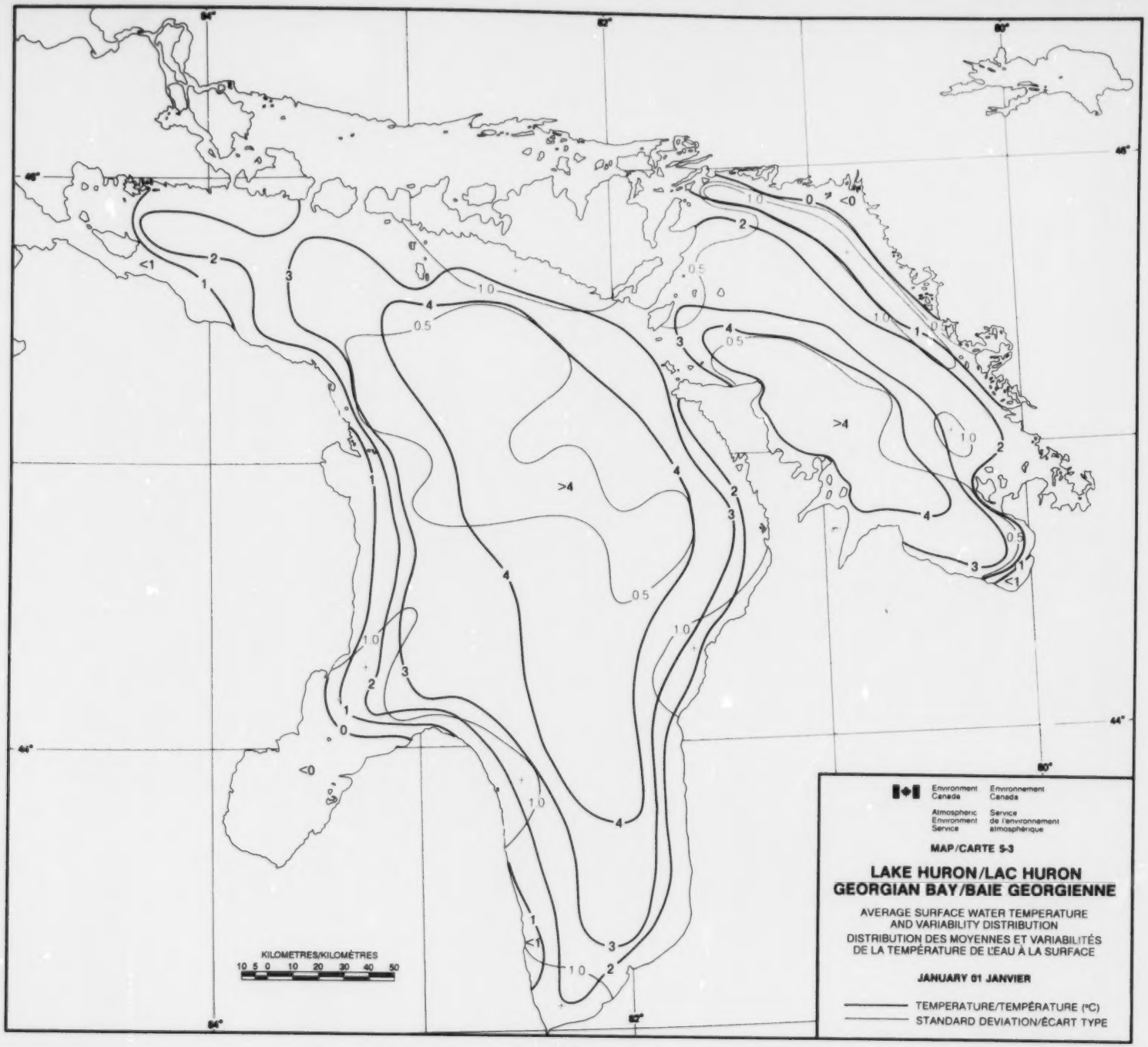
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-1
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
GRID POINT LOCATIONS
EMPLACEMENT DES POINTS DE GRILLE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 0 0 10 20 30 40 50



MAP/CARTE 5-2A LAKE HURON BATHYMETRY/
LAC HURON BATHYMÉTRIE



MAP/CARTE 5-2B GEORGIAN BAY BATHYMETRY/
BAIE GEORGIENNE BATHYMÉTRIE


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-3
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JANUARY 01 JANVIER
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
>4
<0
<1
0.5
1.0

The variability highs (1.0+) centred on GP7, GP70, and GP100 in near-shore areas of Lake Huron are also likely indicators of transient surface conditions created by wind-induced ice migration and/or impounding of warmer surface water, depending on weather conditions.

It should be noted that, due to insufficient data, temperature variability is indeterminable in the westernmost regions of Lake Huron, in areas covered by GP102 to GP123 (Map 5-1).

Map 5-4 January 16

Winter stratification is fully established in Lake Huron and Georgian Bay. The isotherm pattern is depth-related. In mild winters, >4-degree surface water temperature may still be found in the deepest region of Lake Huron, in the area where 1.0+ variability over-laps >3-degree temperature, in the vicinity of GP35, GP43 and GP44.

Normally, significant ice concentrations are found in the northern half of Georgian Bay. Consolidated ice cover forms along the north and northeast shore of Georgian Bay, behind the 0.0-degree standard deviation isopleth. The small variability high (1.0+) in Georgian Bay in the vicinity of GP53 and GP54 is located at the edge of a V-shaped feature in the shelf structure of the lake's bottom topography (refer to Map 5-2B). Perhaps upward deflection of sub-surface currents along the face of the V-shaped scarp increases surface temperature variability in this area.

In Lake Huron, ice is normally found along much of the shoreline at this time. Fast ice occurs in Thunder Bay, behind the 0.0-degree standard deviation isopleth, in the vicinity of GP31 and GP39. Due to scarcity of data, the computed variabilities for areas covered by GP102 to GP123 are not reliable enough to infer the normal extent of consolidated ice cover in Saginaw Bay and in the northwestern arm of the lake. The NOAA Great Lakes Ice Atlas [25] shows Saginaw Bay to be 100 percent covered by consolidated pack ice at this time of the winter; the edge of the consolidated pack is roughly congruent with the 0-degree isotherm.

In the southern basin of Lake Huron, variability is generally less than 0.5 degrees inshore from the 0-degree isotherm, indicating that ice is normally found along this stretch of the shore. The coincidence of 1.0+ variability with water temperature of from 1 to 2 degrees in the southern basin of Lake Huron suggests

Les maximums de variabilité (1,0+) centrés sur PG7, PG70 et PG100, dans les zones littorales du lac Huron, sont aussi des indicateurs possibles des conditions de surface transitoires crées par la migration des glaces provoquée par le vent et/ou la concentration à cet endroit d'eau superficielle chaude, selon les conditions météorologiques.

Il faut noter que vu le manque de données, il n'est pas possible de déterminer la variabilité thermique dans les parties les plus à l'ouest du lac Huron, soit dans la zone qui vas de PG102 à PG123 (carte 5-1).

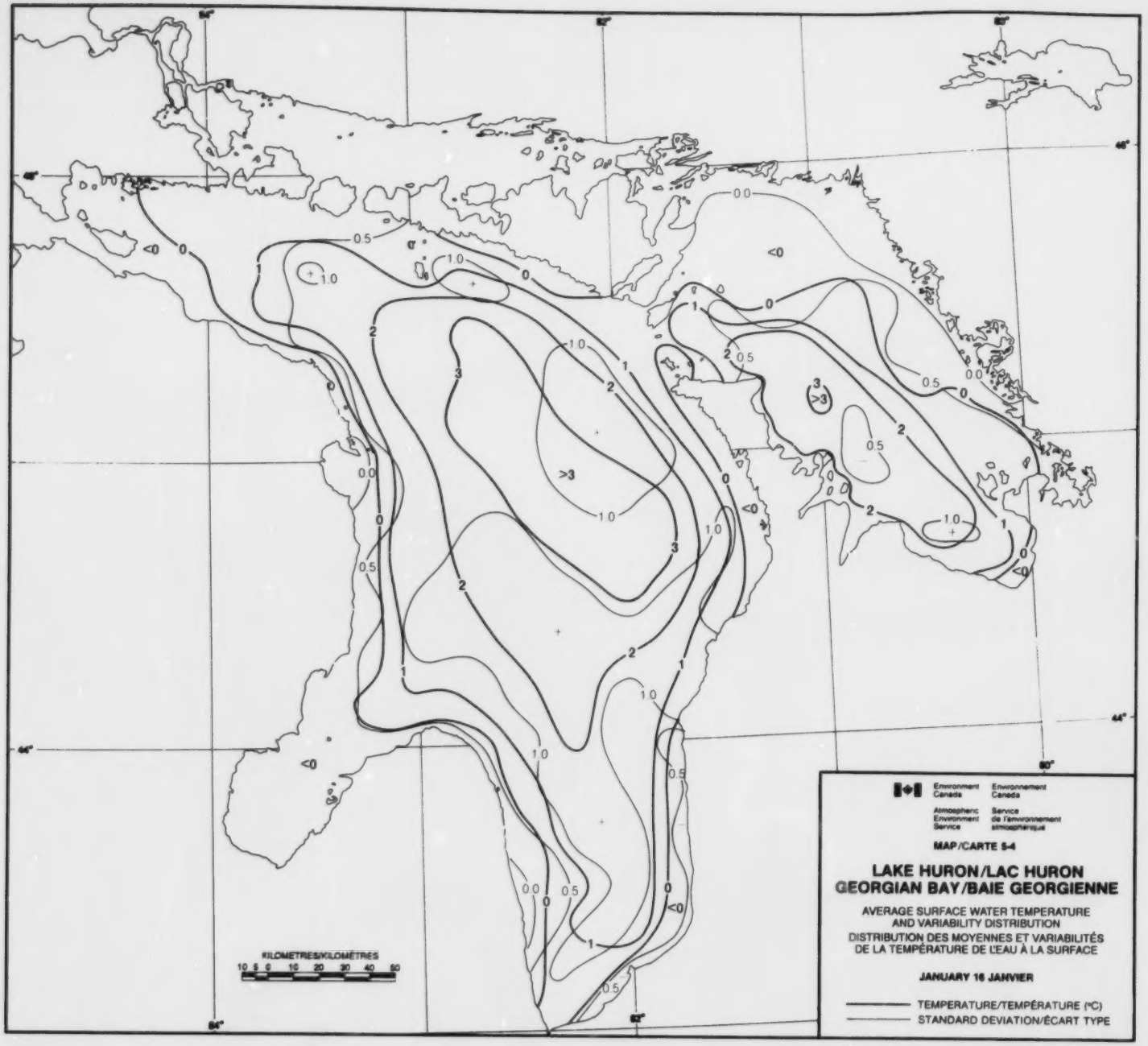
Carte 5-4 16 janvier

La stratification hivernale est entièrement établie dans le lac Huron et dans la baie Georgienne. Le régime des isothermes est lié à la profondeur. Lorsque les hivers sont doux, des températures supérieures à 4 degrés peuvent encore être observées dans la portion la plus profonde du lac Huron, là où la variabilité de 1,0+ chevauche l'isotherme supérieur à 3 degrés, au voisinage de PG35, PG43 et PG44.

Normalement, on constate de très fortes concentrations de glace dans la moitié nord de la baie Georgienne. Une couverture de glace consolidée se forme le long des rives nord-est de la baie Georgienne, derrière l'isoplète de 0,1 degré (écart type). Le petit maximum de variabilité (1,0+) au voisinage de PG53 et PG54 dans la baie Georgienne est situé en bordure d'un creux en V dans plate-forme du lac (voir carte 5-2B). Il se peut que sous l'effet de la déviation vers le haut des courants souterrains le long de la face de l'escarpement en forme de V, la variabilité des températures de surface augmente dans cette région.

Dans le lac Huron, on observe généralement de la glace le long de la majeure partie de la ligne du rivage à cette période. De la banquise côtière s'observe à la baie Thunder, derrière l'isoplète de 0,0 degré (écart type) au voisinage de PG31 et PG39. A cause du manque de données, les variabilités calculées pour les zones couvertes par PG102 à PG123 ne sont pas suffisamment fiables pour permettre de déduire l'étendue normale de la couverture de glace consolidée dans la baie Saginaw et dans le bras nord-ouest du lac. Selon le Great Lakes Ice Atlas de la NOAA [25], la baie Saginaw est couverte à 100 pour cent de banquise consolidée à cette époque de l'année; la bordure du pack correspond à peu près à l'isotherme de 0 degré.

Dans le bassin sud du lac Huron, la variabilité est généralement inférieure à 0,5 degré, côté rive de l'isotherme de 0 degré, ce qui montre que de la glace est généralement présente le long de cette partie de la rive. La concordance de la variabilité de 1,0+ degré et de la température de l'eau (1 à 2 degrés) dans le


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-4
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JANUARY 16 JANVIER
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50

that in cold winters the southern basin can be almost completely ice-covered at this time.

The small variability highs (1.0+) in the northern region of Lake Huron, in the vicinity of GP3 and GP6, may be associated with the occasional surfacing of warmer water from the prevailing northwestward sub-surface circulation [26].

Map 5-5 February 1

As indicated by the position of the 0-degree isotherm, substantial ice cover normally develops in the northern half of Georgian Bay and in the near-shore areas of Lake Huron at this time in the winter season. Consolidated ice cover is usually found inshore from the 0.0-degree standard deviation isopleth.

In Georgian Bay, a small lens of water warmer than 1 degree remains in the vicinity of GP47 over a portion of a deep trench structure (Map 5-2B). Variability is larger than 0.5 degrees in the normally open water portion of Georgian Bay, signifying that it is not unusual for the lake to be almost completely ice-covered.

In Lake Huron the surface water is still warmer than 2 degrees in the deep central basin. Relatively large variability (1.0+) prevails over parts of the central and southern basins. It is notable that 1.0+ variability extends even into normally ice-covered areas. This configuration of the temperature and variability patterns reflects the very changeable ice conditions that can occur in Lake Huron, from day to day and from season to season.

The small variability highs (1.0+), centred on GP109 and GP6 in Lake Huron, and on GP9 in Georgian Bay are situated in areas where surfacing of northward flowing sub-surface currents may occur.

Map 5-6 February 15

At the time of the winter water temperature minimum, ice is found in nearly all of Georgian Bay and temperature variability is very small and uniform. Normally, the northern half of Georgian Bay, north of the 0.5-degree standard

bassin sud du lac Huron semble montrer que, lorsque les hivers sont rigoureux, cette zone peut être entièrement couverte de glace à cette époque.

Les petits maximums de variabilité (1,0+) dans la région nord du lac Huron, près de PG3 et de PG6, peuvent être associés à des remontées occasionnelles d'eau plus chaude à la surface sous l'effet de la circulation subsuperficielle nord-ouest dominante [26].

Carte 5-5 1er février

Comme le révèle la position de l'isotherme de 0 degré, une importante couverture de glace se développe normalement dans la moitié nord de la baie Georgienne et dans les zones littorales du lac Huron à cette période de l'hiver. Une banquise consolidée s'observe généralement côté rive de l'isoplète de 0,0 degré.

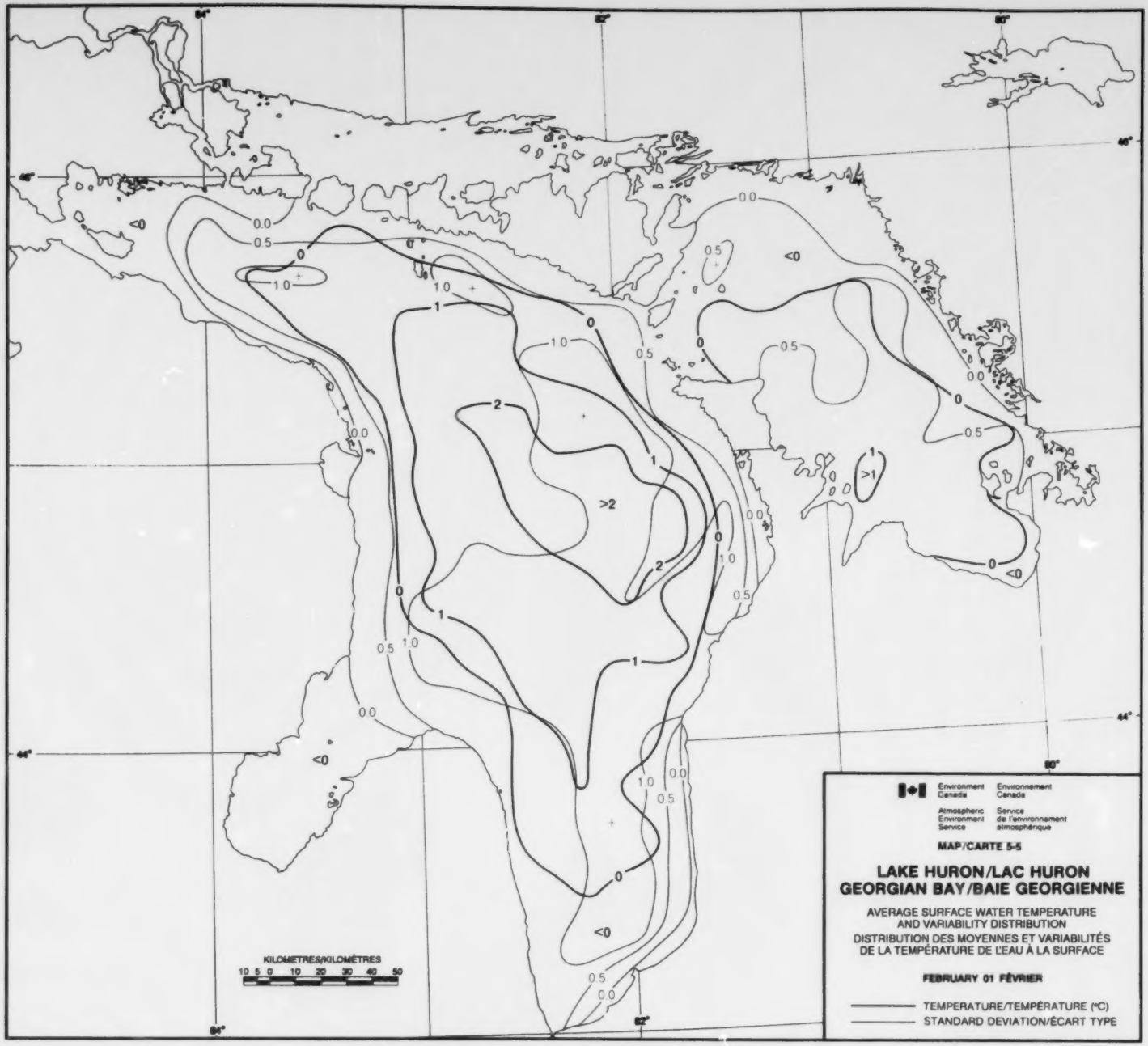
Dans la baie Georgienne, on constate la présence d'une petite lentille d'eau, dont la température est supérieure à 1 degré, près de PG47 au-dessus d'une partie d'une dépression profonde (carte 5-2B). La variabilité est supérieure à 0,5 degré dans la portion d'eau normalement libre de la baie Georgienne, ce qui correspond au fait qu'il n'est pas rare que le lac soit presque complètement couvert de glace.

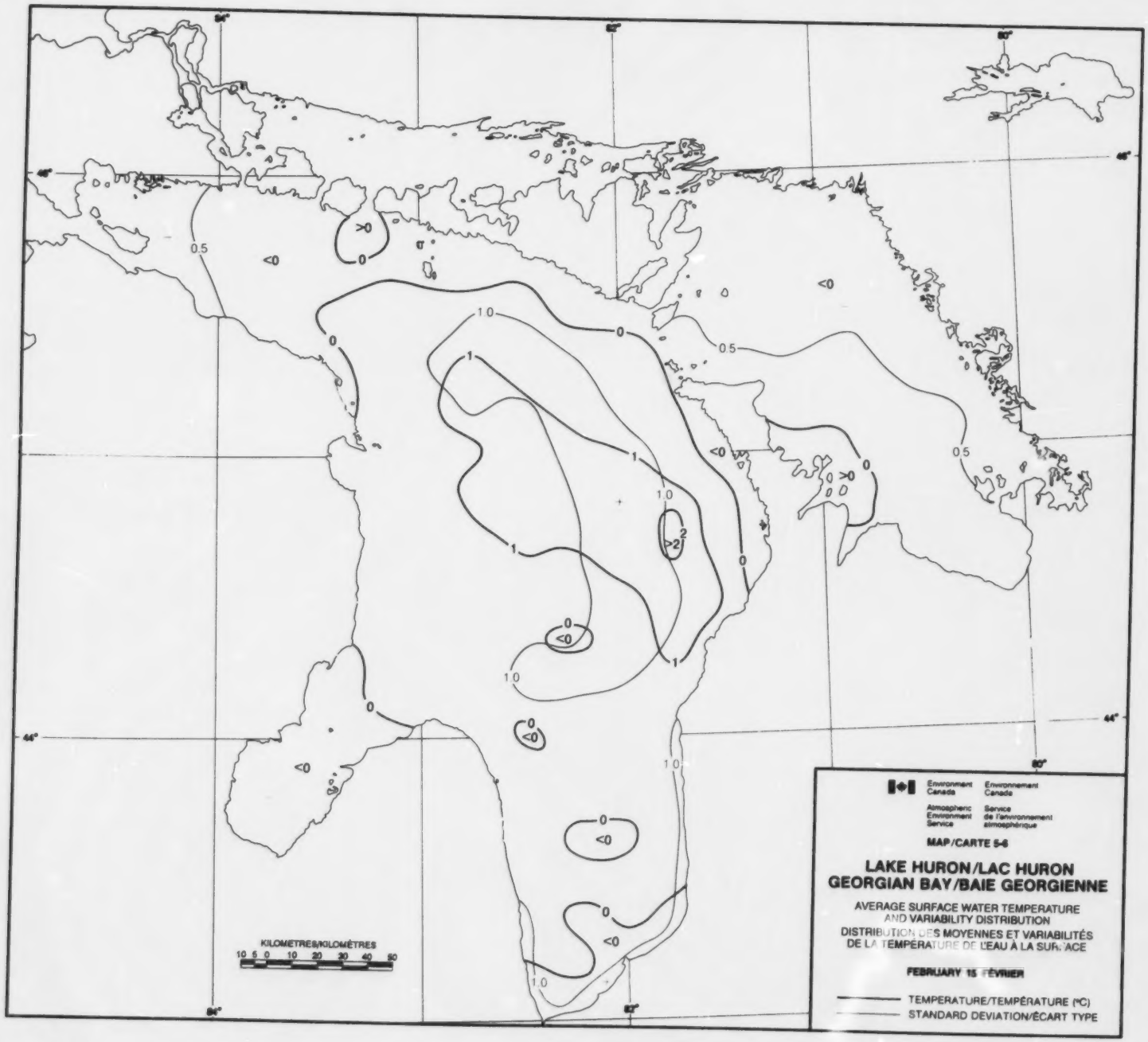
Dans le lac Huron, la température des eaux de surface est toujours supérieure à 2 degrés dans le bassin central profond. On note une variabilité relativement importante (1,0+) au-dessus de certaines parties des bassins du centre et du sud. Il est intéressant de remarquer que la variabilité de 1,0+ s'étend même dans les zones normalement couvertes de glace. Cette configuration des températures et de la variabilité reflète des conditions très variables de la glace qui peuvent se produire dans le lac Huron, d'un jour à l'autre et d'une saison à l'autre.

De petits maximums de variabilité (1,0+) centrés sur PG109 et PG6 dans le lac Huron et sur PG9 dans la baie Georgienne sont situés dans des zones où la remontée de courants sous-marins qui s'écoulent vers le nord peut se produire.

Carte 5-6 15 février

Au moment où les températures de l'eau sont à un point minimum, de la glace s'observe dans presque toute la baie Georgienne et la variabilité des températures est très faible et uniforme. Normalement, la moitié nord de la


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-5
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
FEBRUARY 01 FÉVRIER
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-6
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
FEBRUARY 15 FÉVRIER
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
84°
82°
80°
46°
44°
0.5
1.0
1
2
>2
0
<0
>0

deviation isopleth, is completely ice-covered. Open water leads are found in the southern half, in areas where temperature variability is greater than 0.5 degrees.

Surface water temperature is warmer than 1 degree in most of the deep northern basin of Lake Huron. A small 2+ degrees temperature high remains centred on GP53.

In Lake Huron, ice occurs in the northernmost regions, in Saginaw Bay and in the extreme south end. The surface temperature over most of the lake is between 0 and 1 degrees, and the variability is between 0.5 and 1.0 degrees. This indicates that extensive ice cover can form during cold weather, but most of the lake can be ice-free in mild winters, when surface temperature can range from about 0.5 to 1.5 degrees.

Map 5-7 March 1

The effect of increasing solar heat input to the lakes is apparent in the reduced ice cover from the mid-February situation (compare to Map 5-5). In Georgian Bay, the open-water area is considerably enlarged. However, the 0.5-degree standard deviation isopleth remains in nearly the same position as in February, indicating that a quasi-permanent ice cover is maintained in the northeastern half of Georgian Bay during the mid-winter period. Of course, the 0.5+ degree variability in the southern open water portion of Georgian Bay implies that it is not unusual for this area to be ice-covered as well.

In Lake Huron, the surface temperature in the deep northern basin has decreased very little since mid-February. The small variability range (0.5+/- degrees) in the warmer than 1-degree water indicates that this area usually remains ice-free. The similar temperature and variability range over most of the lake suggests that extensive ice cover in Lake Huron is not unusual at this time. It appears that a consolidated ice cover is normally found only in the northwestern arm of the lake, west of the 0.5-degree standard deviation isopleth.

Map 5-8 March 16

A very constant surface water temperature is maintained in the deep northern basin of Lake Huron: the area bounded by the 1-degree isotherm is almost unchanged from March 1 (Map 5-7). The surface temperature of most

baie Georgienne, au nord de l'isoplète de 0,5 degré est complètement recouverte de glace. On constate des chenaux d'eau libres dans la moitié sud, là où la variabilité de température est supérieure à 0,5 degré.

La température des eaux de surface est supérieure à 1 degré dans la majeure partie du profond bassin nord du lac Huron. Un petit maximum de température de 2+ degrés demeure centré sur PG53.

Dans le lac Huron, on note de la glace dans les régions les plus au nord, dans la baie Saginaw et dans l'extrême sud. Sur la majeure partie du lac, la température de surface oscille entre 0 et 1 degré, et la variabilité entre 0,5 et 1,0 degré. Cela montre bien qu'une banquise étendue peut se former par temps froid, et que la majeure partie du lac peut être libre de glace lorsque les hivers sont doux et que les températures de surface varient entre 0,5 et 1,5 degré environ.

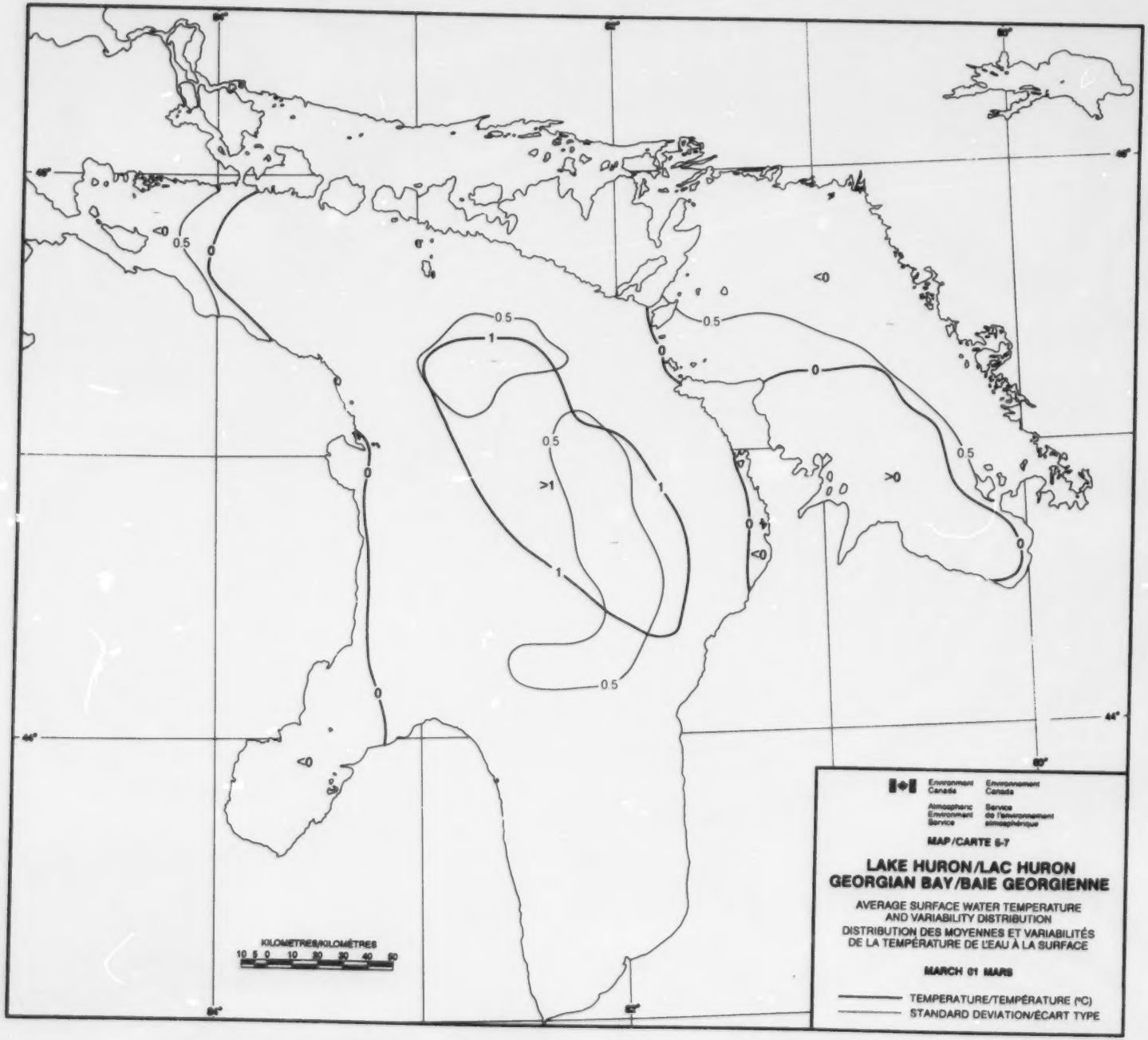
Carte 5-7 1er mars

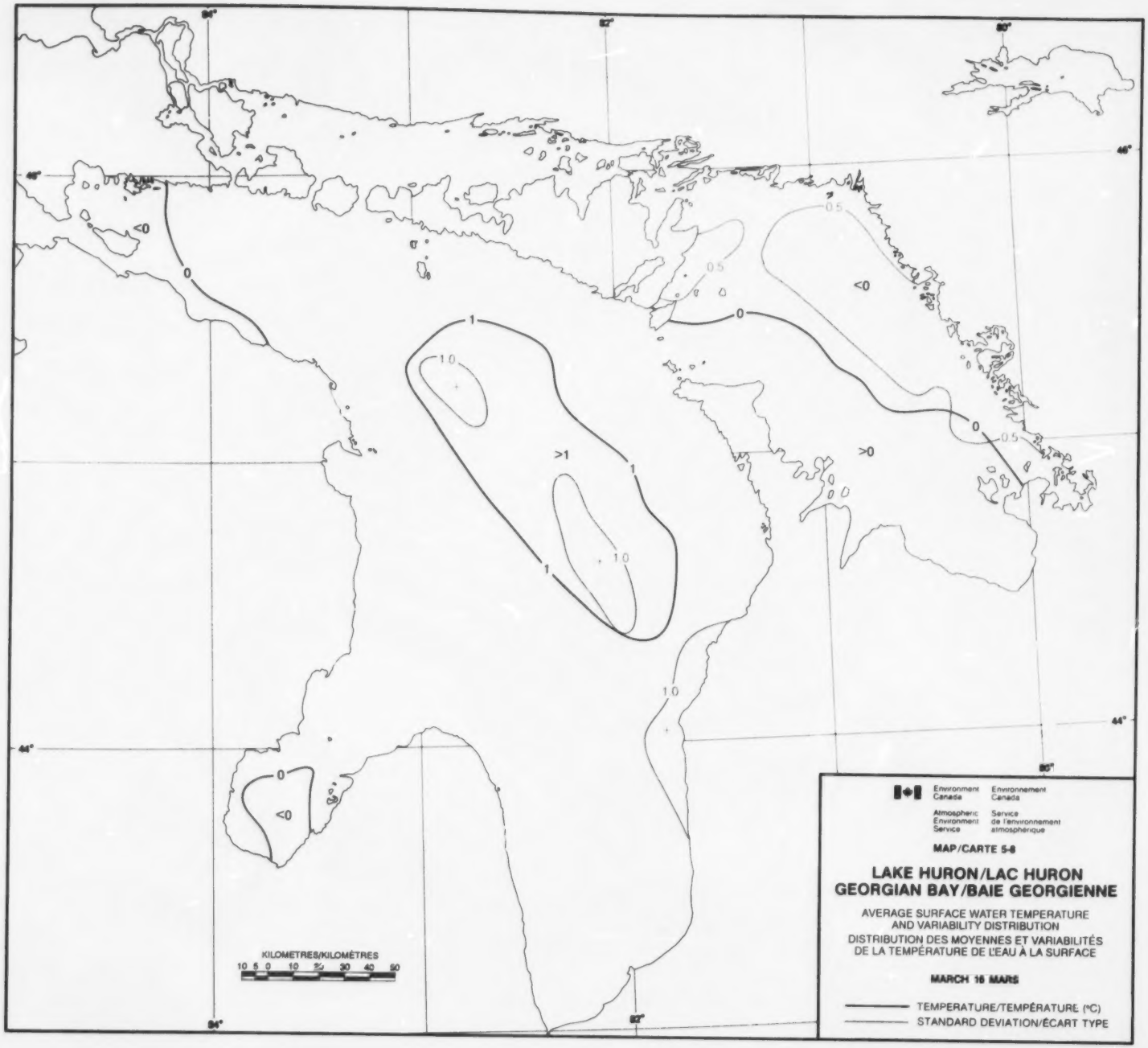
L'effet de l'intensification de rayonnement solaire se reflète par une couverture de glace diminuée par rapport à la situation de la mi-février (carte 5-5). Dans la baie Georgienne, la zone libre de glace est considérablement élargie. L'isoplète de 0,5 degré demeure cependant presque à la même position qu'en février, ce qui montre qu'une couverture de glace quasi permanente demeure dans la moitié nord-ouest de la baie Georgienne durant toute la période du milieu de l'hiver. Bien entendu, la variabilité de 0,5+ degré dans la portion de la baie Georgienne, libre de glace, veut dire qu'il n'est pas inhabituel que cette région soit aussi couverte de glace.

Dans le lac Huron, les températures de surface dans le profond bassin nord ont diminué très peu depuis la mi-février. La petite fourchette de variabilité (0,5+/- degré) dans l'eau dont la température est supérieure à 1 degré révèle que cette zone demeure généralement libre de glace. Les fourchettes semblables de températures et de variabilité pour la majeure partie du lac montrent qu'il n'est pas inhabituel qu'à cette période de l'année le lac Huron soit en grande partie couvert de glace. Il semble que de la glace consolidée ne s'observe généralement que dans le bras nord-ouest du lac, à l'ouest de l'isoplète de 0,5 degré.

Carte 5-8 16 mars

La température de surface se maintient constante dans le profond bassin nord du lac Huron : en effet, la zone délimitée par l'isotherme de 1 degré est à peu près identique à ce qu'elle était le 1er mars (carte 5-7). La température


0.5
0
<0
1
>1
>0
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-7
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
MARCH 01 MARS
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-8
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
MARCH 16 MARS
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
<0
0
1
>1
>0
0.5
1.0

of Lake Huron, as well as of the open water portion of Georgian Bay, remains just above freezing during the ice melt period.

The northern half of Georgian Bay is still largely ice-covered, but in Lake Huron ice is normally found only in the northwestern arm and in Saginaw Bay.

Temperature variability has increased over-all in Lake Huron since the beginning of the month. The 1-degree (plus or minus a few tenths) temperature and 1.0+/- degree variability over much of the lake indicate that substantial ice cover can occur if the advent of warm weather is delayed. Likewise, Georgian Bay can be largely ice-covered.

Variability highs (1.0+) occur in the deep central basin of Lake Huron. Temperature can be elevated temporarily in this area by a combination of daytime solar heating or turbulent admixing of warmer water from below. Temperature can also be temporarily lowered by passing trains of broken ice. The variability high (1.0+) along the east-central shore is probably caused by periodic impounding on shore of either ice or heated surface water by the prevailing westerly winds.

Map 5-9 April 1

A very uniform surface water temperature of 1 degree, plus or minus a few tenths, prevails over most of Georgian Bay and Lake Huron toward the end of the ice melt period.

There are some signs of incipient near-shore shallow water warming in Georgian Bay, but the over-all temperature of less than 1 degree, together with the temperature variability range of 0.6 to 1.2 degrees, indicate that significant amounts of ice can still occur in Georgian Bay at this time. The ice consists of either residual winter pack ice, or thin new ice formed during cold nights.

The surface temperature is also very uniform in most of Lake Huron, but shallow water heating is definitely under way in Saginaw Bay.

Although the temperature field remains very uniform, remarkably strong gradients have developed in the Lake Huron variability pattern. Toward the end

de surface de la majeure partie du lac Huron, ainsi que de la portion d'eau libre de la baie Georgienne, demeure juste au-dessus du point de congélation durant la période de fonte de la glace.

La portion nord de la baie Georgienne demeure largement couverte de glace, mais dans le lac Huron, on n'observe en général de la glace que dans le bras nord-ouest et dans la baie Saginaw.

La variabilité de température a augmenté globalement dans le lac Huron depuis le début du mois. La température de 1 degré (plus ou moins quelques dixièmes) et la variabilité de 1,0+/- degré pour la majeure partie du lac montrent qu'une couverture de glace substantielle peut persister si le temps chaud se fait attendre. De même, la baie Georgienne peut être en grande partie couverte de glace.

Les maximums de variabilité (1,0+) s'observent dans le profond bassin central du lac Huron. Dans cette région, les températures peuvent s'élever temporairement sous l'effet du réchauffement solaire diurne ou de l'advection par turbulence d'eau sous-jacente plus chaude. La température peut de même être temporairement abaissée sous l'effet de trains de glace brisée. Le maximum de variabilité (1,0+) le long de la rive centre-est est probablement causé par une concentration périodique de glace ou d'eau de surface réchauffée qui viennent buter contre la rive, sous l'influence des vents d'ouest dominants.

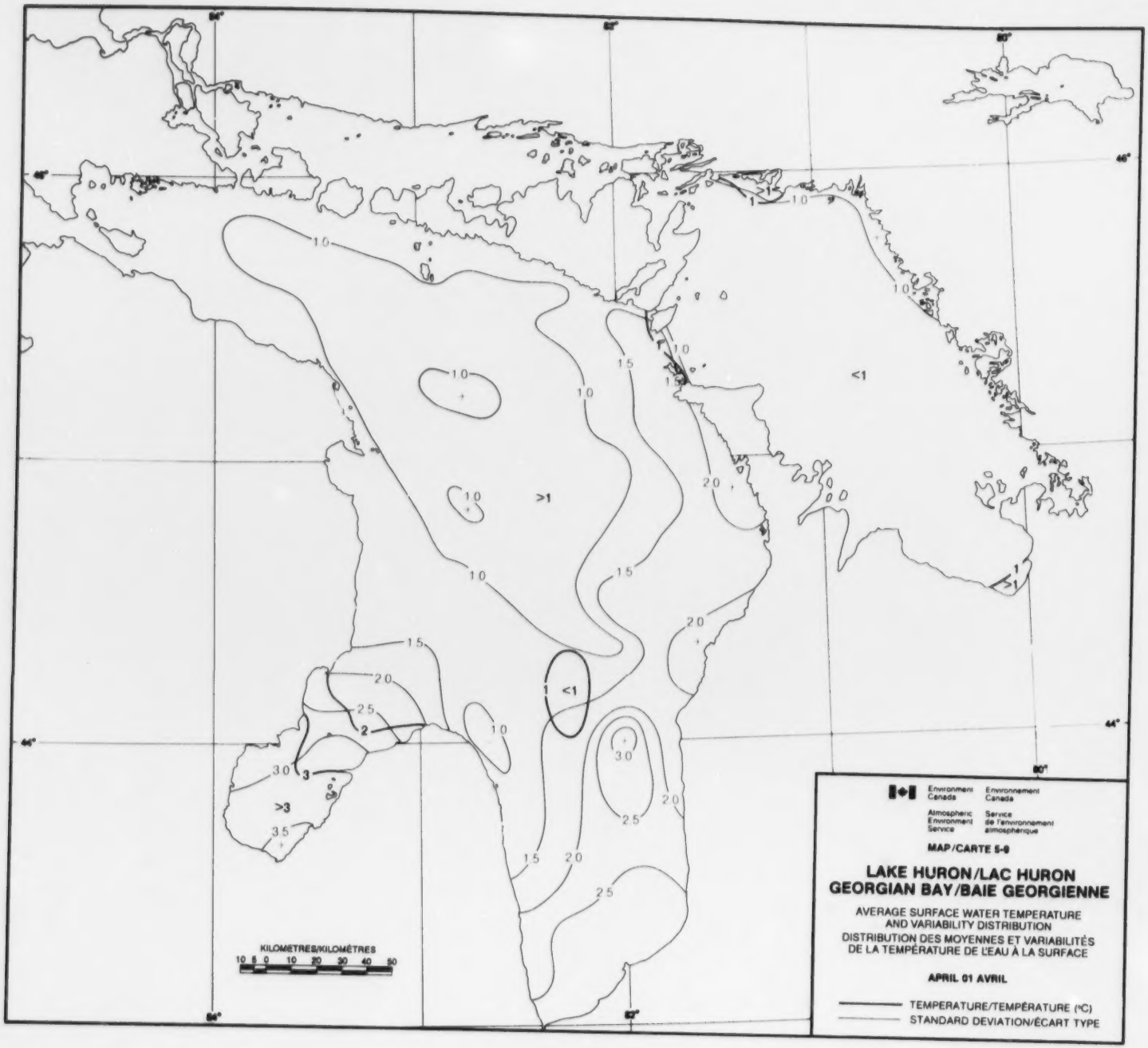
Carte 5-9 1er avril

On constate une température de surface très uniforme de 1 degré, plus ou moins quelques dixièmes, sur la majeure partie de la baie Georgienne et du lac Huron vers la fin de la période de fonte de la glace.

Certains signes annoncent le début du réchauffement des eaux littorales peu profondes dans la baie Georgienne, bien que d'importantes quantités de glace peuvent toujours persister à cette période dans cette baie, à preuve la température globale inférieure à 1 degré et la variabilité de 0,6 à 1,0 degré. La glace se compose de pack résiduel ou d'une mince couche de nouvelle glace, formée durant les nuits froides.

Les températures de surface sont aussi très uniformes dans la majeure partie du lac Huron, mais le réchauffement des eaux peu profondes est clairement amorcé dans la baie Saginaw.

Bien que le champ thermique demeure très uniforme, le régime de variabilité présente des gradients particulièrement marqués dans le lac Huron.


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-8
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
APRIL 01 AVRIL
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
<1
>1
>3

of the ice melt period, ice movements and weather conditions produce a very changeable surface temperature field, on both daily and seasonal scales. The large variabilities in Saginaw Bay, in the southern basin, and along the eastern shore indicate that these regions can experience rapid daytime surface heating in warm, clear weather conditions. Transport of heated surface water from the central region of the lake by the prevailing westerly winds also assists in sustaining the large temperature increases in the southern and eastern portions of the lake. But, the large variabilities also indicate that the southeastern third of Lake Huron can be congested with wind-driven pack ice at the end of a prolonged winter season, and that consolidated ice cover can persist in Saginaw Bay.

A mid-lake ridge in the bottom topography of Lake Huron, running from GP31 to GP82 (refer to Maps 5-1 and 5-2A), divides the lake into two physiographically distinct basins. Temperature variability is smaller (1.0-) in the deep northern basin, where convective and turbulent mixing minimizes the diurnal surface temperature range.

The pronounced variability high (3.0+) in the vicinity of GP81 and GP89 in Lake Huron is probably associated with a counterclockwise eddy circulation [27]. The eddy entraps either heated surface water or floating pack ice, depending on weather conditions, and thus increases temperature variability in that area.

Map 5-10 April 16

Near-shore shallow water warming is now apparent in most of Lake Huron. In Georgian Bay, the warming trend is less pronounced; it is expressed mainly by the increased variability along the eastern shore where daytime heating of the shallows is assisted by impounding of the warmed surface water on shore by the prevailing westerly winds. Daytime shallow water heating is counteracted by nighttime cooling, often at below-zero air temperatures. Nighttime re-freezing is not unusual in the rocky shallows along the eastern shore of Georgian Bay, as suggested by the 1.5+ degree variability range. In the deeper regions, convective and turbulent mixing through the water column minimizes the variability of surface temperature.

In Lake Huron, the temperature and variability gradients are starting to organize into a depth-related pattern. The influence of the westerly wind regime is also apparent in the variability pattern in the southern basin and in the east

Vers la fin de la période de fonte de la glace, les mouvements de la glace et les conditions météorologiques entraînent une grande variation des températures de surface à l'échelle quotidienne et saisonnière. La présence d'importantes variabilités dans la baie Saginaw, dans le bassin sud et le long de la rive est témoigne du fait que ces régions peuvent connaître un réchauffement superficiel diurne rapide par temps chaud et clair. Le transport d'eau de surface réchauffée provenant du centre du lac sous l'effet des vents d'ouest prédominants contribue aussi aux importantes élévations de température que connaissent les portions est et sud du lac. Les importantes variabilités montrent aussi que le tiers sud-est du lac Huron peut être envahi de banquises morcelées transportées par le vent à la fin d'une saison hivernale prolongée et que la banquise consolidée peut persister dans la baie Saginaw.

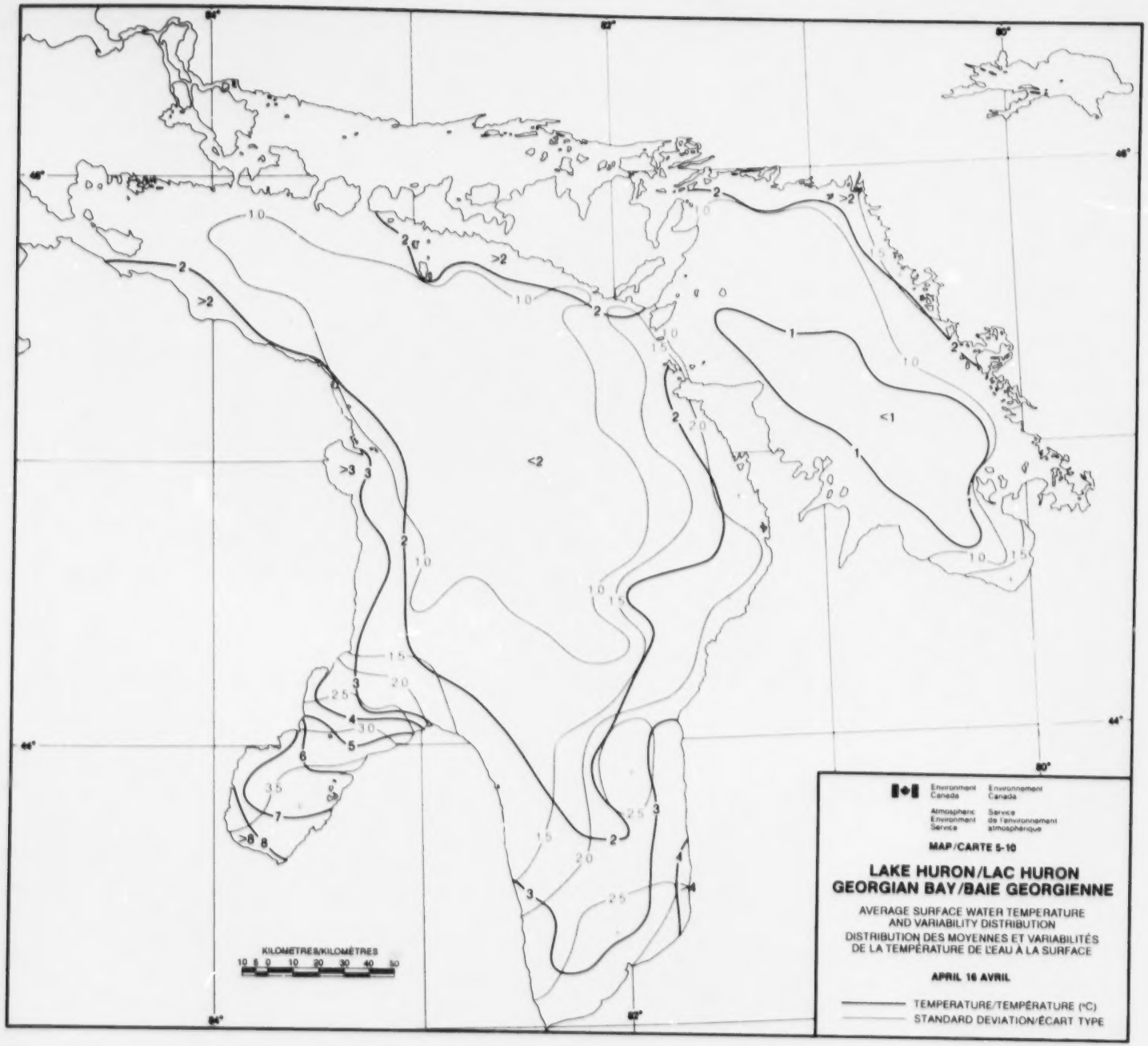
Dans le fond du lac Huron, une crête allant de PG31 à PG82 (cartes 5-1 et 5-2A) divise le lac en deux bassins dont les caractéristiques géographiques sont distinctes. Ainsi, la variabilité thermique est plus faible (1,0-) dans le bassin nord profond, où le brassage par turbulence et convection minimise l'amplitude diurne des températures de surface .

Le maximum prononcé de variabilité (3,0+) près de PG81 et de PG89 dans le lac Huron est probablement associé à un tourbillon qui se déplace dans le sens anti-horaire [27]. Le tourbillon emprisonne de l'eau de surface réchauffée ou du pack, selon les conditions météorologiques, et augmente donc ainsi la variabilité thermique dans cette région.

Carte 5-10 16 avril

On constate maintenant le réchauffement des eaux peu profondes du littoral du lac Huron. Dans la baie Georgienne, cette tendance est moins marquée; elle s'exprime essentiellement par la variabilité accrue le long de la rive est où le réchauffement diurne des eaux peu profondes s'accompagne d'une concentration à cet endroit d'eau de surface réchauffée sous l'effet des vents d'ouest dominants. Le réchauffement diurne s'oppose au refroidissement nocturne, souvent à des températures atmosphériques inférieures à zéro. Le regel nocturne n'est pas inhabituel dans les haut-fonds rocheux qui parsèment la rive est de la baie Georgienne, comme le reflète l'amplitude de la variabilité de 1,5+ degré. Dans les eaux plus profondes, le brassage dans la colonne d'eau, par convection et par turbulence, minimise la variabilité de la température de surface.

Dans le lac Huron, la configuration des gradients de température et de variabilité commence à s'organiser en fonction de la profondeur. La configuration de la variabilité est aussi marquée par l'influence du régime des


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-10
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
APRIL 16 AVRIL
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50

shore region. Impounding of warm surface water, or remnant ice, increases temperature variability along the downwind shore. The 2.0+ variability and a water temperature range of 2 to 3 degrees along the east shore imply that remnant ice can be driven on shore there, at times, by wind.

Likewise, remnant ice concentrations are possible in the previously mentioned eddy region (refer to Map 5-9) in the vicinity of GP81 and GP85, and in the south end of Lake Huron.

The spring overturn and formation of summer stratification are notably advanced in the shallow Saginaw Bay. Here the large variability is due to temperature changes in the stratifying surface layer of water. Stratification forms and the surface heats up quickly on calm sunny days. Stratification can be easily destroyed again by wind-induced turbulent mixing with a resultant rapid drop in surface temperature.

Wind transport of surface water eastward is suggested by the greater variability (3.5+) in the southeast half of Saginaw Bay. The prevailing westerly winds strip off surface water in the northern regions of the bay, thus slowing down the surface temperature increase. This reduces the daily maximum surface temperature, the diurnal temperature range, and hence variability in the northern half of the bay. The opposite occurs in the eastern half of the bay, where westerly winds impound the heating surface water on shore.

Map 5-11 May 1

The start of summer stratification is evident in the near-shore zone of southern Lake Huron. Shallow water warming is just beginning in northern Lake Huron and in Georgian Bay.

Both the temperature and variability patterns are generally depth-related. Somewhat higher variabilities are found along the eastern and southern shores, where larger diurnal surface temperature ranges are created by periodic impounding of heated surface waters by the prevailing westerly winds.

vents d'ouest dans le bassin sud et dans la zone de la rive est. La concentration le long de la rive sous le vent, d'eau de surface chaude ou de glace résiduelle augmente la variabilité des températures. La variabilité de 2,0+ et la température oscillant entre 2 et 3 degrés le long de la rive sud montrent que de la glace résiduelle peut y être amenée par le vent, à certains moments.

De même, des concentrations de glace résiduelle peuvent s'observer dans la région du tourbillon dont il a déjà été question (voir la carte 5-9) au voisinage de PG81 et PG85 et à l'extrémité sud du lac Huron.

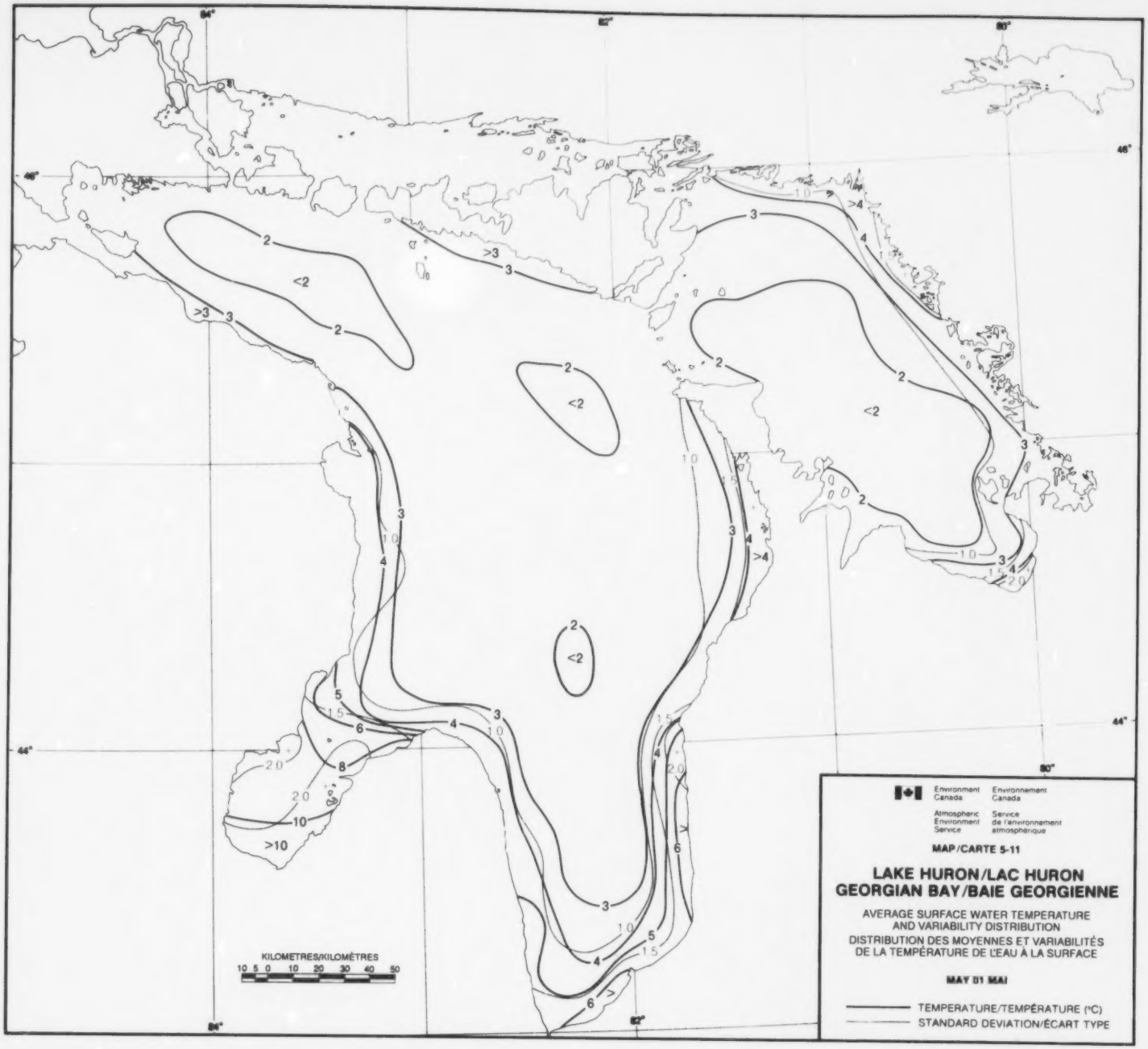
Le renversement printanier et la formation d'une stratification estivale sont beaucoup plus avancés dans la peu profonde baie Saginaw que dans le reste du lac. En effet, à cet endroit, l'importe variabilité est liée aux changements de température dans les couches superficielles en cours de stratification. Par temps calme mais ensoleillé, la stratification s'établit et la surface se réchauffe rapidement. La stratification peut être rapidement détruite par un brassage turbulent provoqué per le vent, ce qui entraîne une baisse rapide des températures de surface.

Dans la moitié est de la baie Saginaw, la variabilité plus marquée (3,5+) reflète le transport éolien vers l'est des eaux de surface. Les vents d'ouest dominants "arrachent" la couche superficielle dans la région nord de la baie, ralentissant ainsi la hausse des températures. Cela diminue la température quotidienne maximum de surface, l'amplitude diurne des températures, donc la variabilité dans la moitié nord de la baie. Le contraire se produit dans la moitié est de la baie, où, sous l'effet des vents d'ouest, les eaux de surface réchauffées se concentrent dans la zone littorale.

Carte 5-11 1er mai

Il apparaît évident que la stratification estivale est amorcée dans la zone de littoral du sud du lac Huron. Le réchauffement des eaux peu profondes s'amorce dans le nord du lac Huron et dans la baie Georgienne.

Les configurations de température et de variabilité sont généralement fonction de la profondeur. Des variabilités légèrement plus élevées s'observent le long des rives est et sud où des amplitudes diurnes des températures sont plus importantes à cause de la concentration périodique d'eau de surface réchauffée à cet endroit par des vents d'ouest dominants.


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-11
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
MAY 01 MAI
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50

Map 5-12 May 16

Shallow water warming and the formation of summer stratification is generally under way, with the exception of the north shore of Lake Huron and the west shore of Georgian Bay along the Bruce peninsula. Surface warming along the north shore of Lake Huron is slowed by southeastward transport of warmed surface water away from the north shore by westerly winds. The slow warming along the west shore of Georgian Bay is due mainly to the absence of a shallow beach zone on the precipitous slope of the Bruce Peninsula (see Map 5-2B).

Variability is generally less than 1.0 degree in the unstratified deep waters where convective mixing keeps the surface temperature at less than 4 degrees. Variability increases in the newly-stratified waters of the near-shore zone, where surface temperature can rise rapidly on calm and clear days, and can as rapidly fall again, if the surface stratification is destroyed by wind-induced mixing. The variability highs (2.0+) along the east shore of Lake Huron can be attributed to periodic impounding on shore of warm surface water under the prevailing westerly winds.

Map 5-13 June 1

Strong depth-related surface temperature gradients form in the developing epilimnion as the season enters the period of maximum insolation and intense daytime heating. Cloud cover is a critical factor to daily heat input to the lake at this time. Consequently, temperature variability increases markedly throughout, due to daily and seasonal variations in cloudiness.

Examination of the Lake Huron and Georgian Bay temperature field in conjunction with the over-all 2.0+/- variability reveals that formation of lake-wide summer stratification is highly dependent on weather conditions. As weather conditions change, thin stratification is alternately established and destroyed in the cold central regions. If warm weather conditions persist, lake-wide stratification is established in early June. If the weather is persistently cold, surface temperature remains in the 2 to 3 degree range in much of the central core region of the lake.

The warmest temperatures and largest temperature gradients are found along the eastern shores of Lake Huron and Georgian Bay. This is due to the southeastward transport and impounding of warm surface water onto the eastern shores by the prevailing westerly winds. Usually, a strong thermal bar structure

Carte 5-12 16 mai

Le réchauffement des eaux peu profondes et la formation d'une stratification estivale sont généralement en cours, sauf pour la rive nord du lac Huron et la rive ouest de la baie Georgienne le long de la péninsule Bruce. Le réchauffement de surface le long de la rive nord du lac Huron est ralenti par le transport vers le sud de l'eau réchauffée à cet endroit par les vents de l'ouest. Le long réchauffement qui se produit le long de la rive ouest de la baie Georgienne est essentiellement lié à l'absence d'une plage en pente douce et à la présence d'une pente abrupte sur la péninsule Bruce (carte 5-2B).

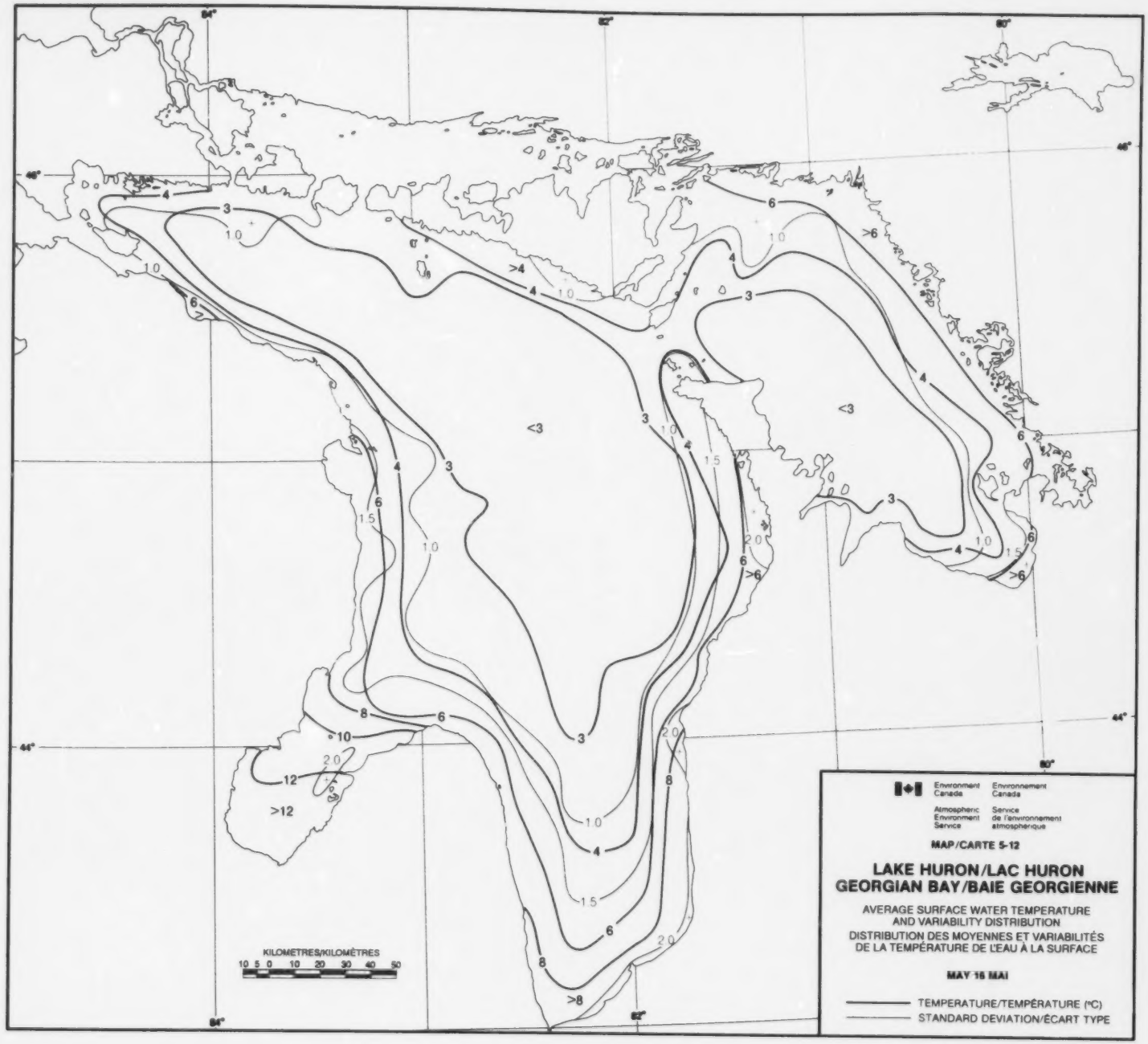
La variabilité est généralement inférieure à 1,0 degré dans les eaux profondes non stratifiées où, sous l'effet du passage convectif, les températures de surface demeurent inférieures à 4 degrés. La variabilité augmente dans les eaux nouvellement stratifiées de la zone littorale où les températures de surface peuvent s'élever rapidement par temps clair et calme et diminuer tout aussi rapidement, si la stratification de surface est détruite par le brassage dû au vent. Les maximums de variabilité (2,0+) le long de la rive est du lac Huron peuvent être attribués à une concentration périodique sur la rive d'eau plus chaude poussée par les vents d'ouest.

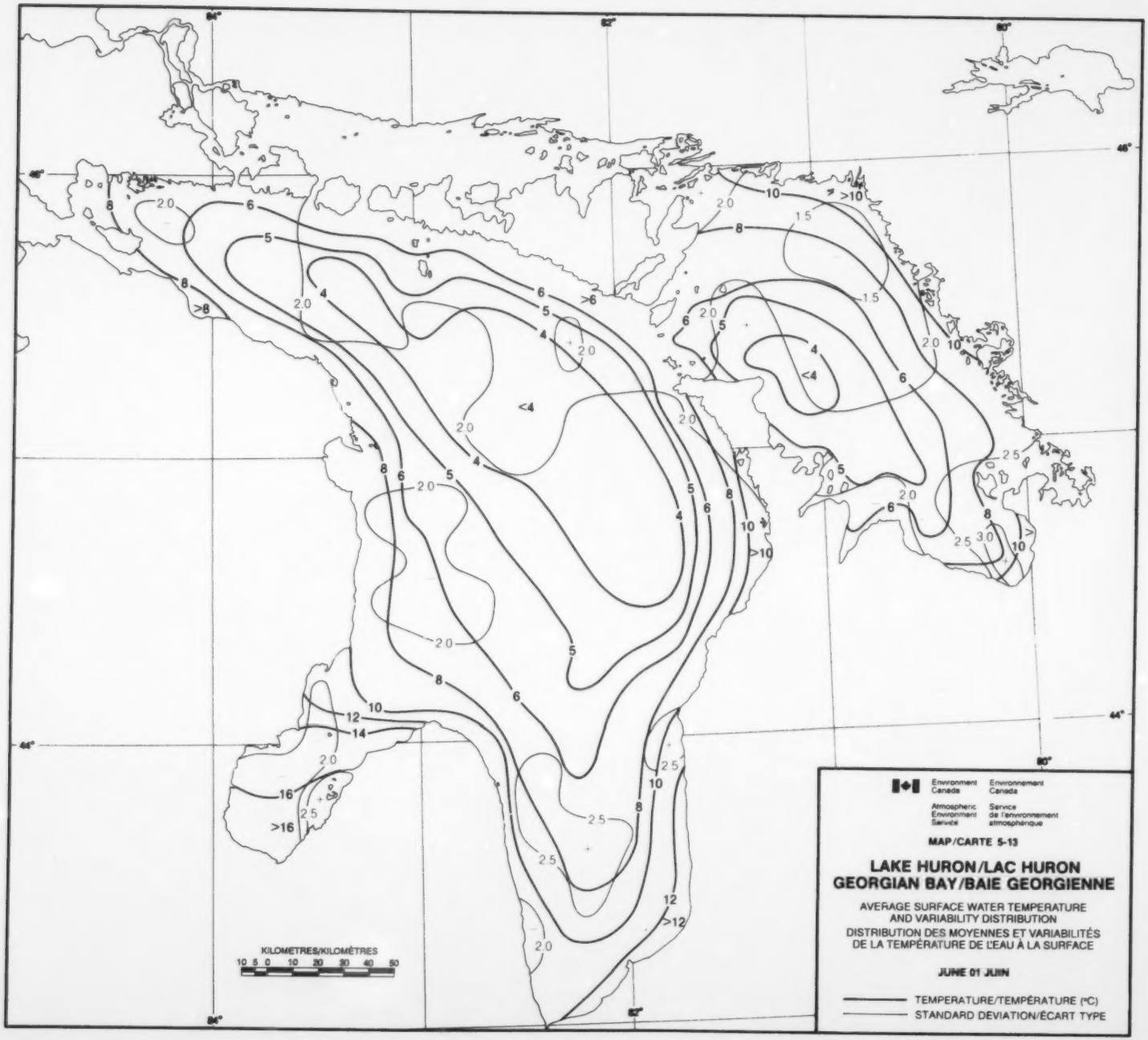
Carte 5-13 1er juin

Des gradients marqués de température de surface, fonction de la profondeur, s'établissent dans l'épilimnion en cours de formation à mesure que la saison avance et atteint la période de réchauffement diurne intense et d'insolation maximum. Le couvert nuageux est un facteur critique à l'apport quotidien de chaleur au lac à cette période de l'année. La variabilité des températures augmente donc de façon marquée, à cause des variations quotidiennes et saisonnières de la nébulosité.

L'examen des champs thermiques du lac Huron et de la baie Georgienne ainsi que de la variabilité globale de 2,0+/- révèle que la formation d'une stratification estivale à l'échelle du lac dépend beaucoup des conditions météorologiques. Ainsi, à mesure que les conditions varient, une mince stratification s'établit puis est détruite dans les régions froides du centre. Si le temps reste chaud, la stratification s'établit à la grandeur du lac au début juin. Par contre, si le temps reste froid, les températures de surface oscillent entre 2 et 3 degrés dans la majeure partie de la région centrale du lac.

Les températures les plus chaudes et les gradients de température les plus marqués s'observent le long des rives est du lac Huron et de la baie Georgienne. Cela est dû au transport vers le sud-est et à la concentration sur les rives est d'eau de surface chaude sous l'effet de vents d'ouest dominants.


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-12
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
MAY 15 MAI
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
<3
>4
>6
>8
>12


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-13
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JUNE 01 JUIN
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
84°
82°
80°
46°
44°

develops in the east-central region of Lake Huron, where both eastward transport of surface water and the steep lake bottom slope create conditions favourable to its formation and persistence.

Map 5-14 June 16

The depth-related isotherm pattern and strong surface temperature gradients continue as summer stratification nears completion. Temperature variability remains in the same 2.0+/- range as at the beginning of the month. In cold springs, stratification can be delayed over a substantial portion of the northern basin of Lake Huron and in the west-central region of Georgian Bay.

Map 5-15 July 1

Summer stratification is completed in Lake Huron and Georgian Bay. The depth-related isotherm pattern persists, but surface temperature gradients are beginning to diminish in the deepening epilimnion in Georgian Bay and southern Lake Huron.

Temperature variability has increased markedly from mid-June in the cool deep regions of Lake Huron (compare to Map 5-14), pointing to the tenuous, weather-dependent existence of the as yet thin epilimnion. During this period of maximum solar energy input, the surface of the stratified layer can experience extreme heating and a large temperature increase under calm and clear daytime conditions. Conversely, wind-induced turbulent mixing can easily obliterate the thin surface stratification, drastically lowering the surface temperature in the process.

In the cold central region of Lake Huron, the 3.5 to 4.0 degree variability range suggests that surface temperatures of less than 4 degrees can still occur in the vicinity of GP26 and GP27 during a cold spring.

Map 5-16 July 16

Surface temperature gradients are decreasing in the maturing epilimnion of Georgian Bay and southern Lake Huron. The Georgian Bay isotherm pattern is losing its relationship to depth. Eastward transport of surface water under the prevailing westerly winds has set up a west to east surface temperature gradient.

Il se forme généralement une barrière thermique marquée dans le centre-est du lac Huron où la circulation vers l'est d'eau de surface et la pente abrupte du fond du lac constituent des conditions favorables à sa formation et à sa persistance.

Carte 5-14 16 juin

La configuration des isothermes est fonction de la profondeur et les gradients de températures de surface restent marqués à mesure qu'arrive à maturité la stratification estivale. La variabilité des températures demeure la même qu'au début du mois (2,0+/-). Lorsque les printemps sont frais, la stratification peut être retardée pour une importante partie du bassin nord du lac Huron et dans la région du centre-ouest de la baie Georgienne.

Carte 5-15 1er juillet

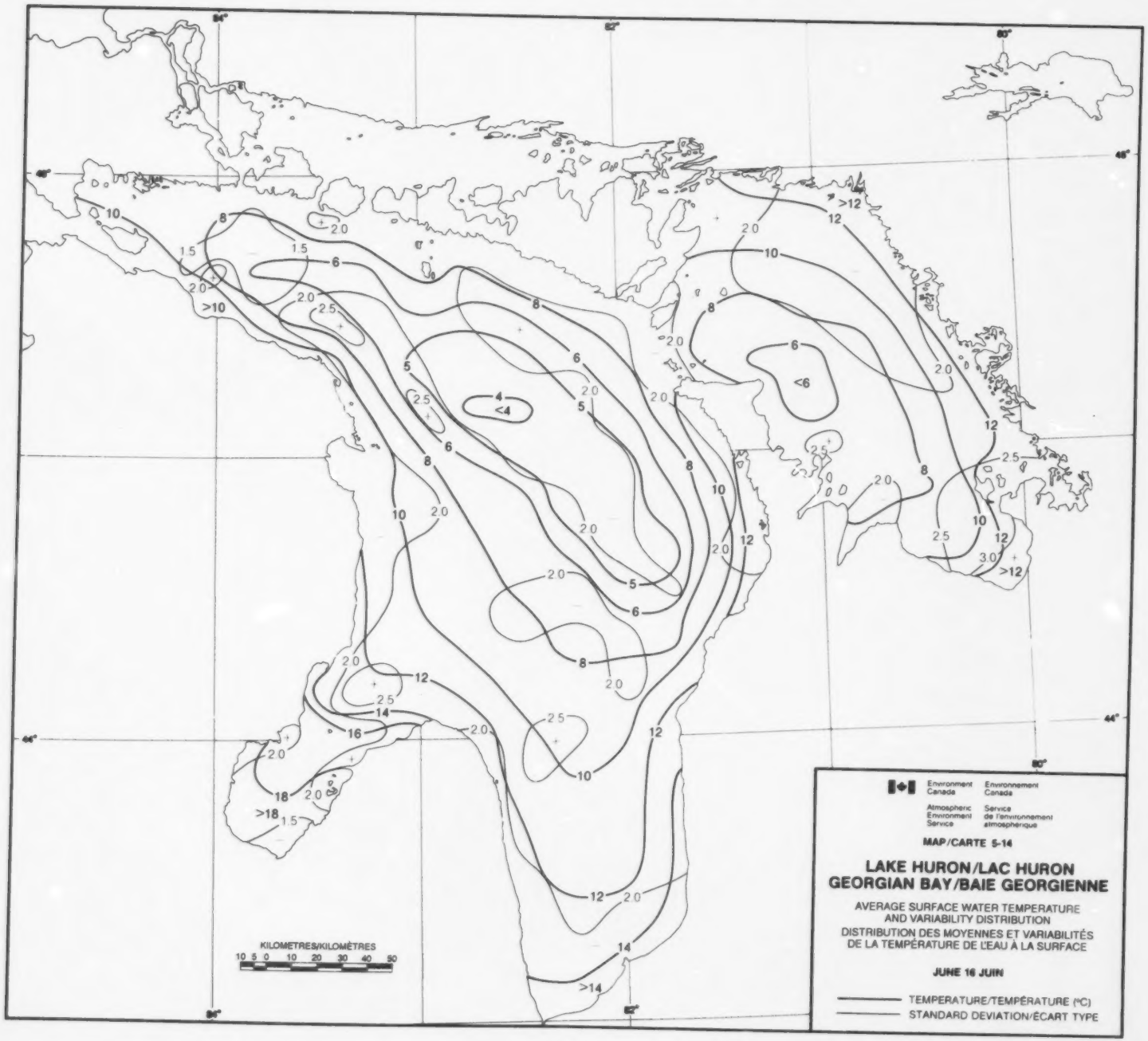
La stratification estivale est achevée dans le lac Huron et la baie Georgienne. La configuration des isothermes reste fonction de la profondeur mais les gradients des températures de surface commencent à s'amoindrir dans l'épilimnion qui s'épaissit (baie Georgienne et sud du lac Huron).

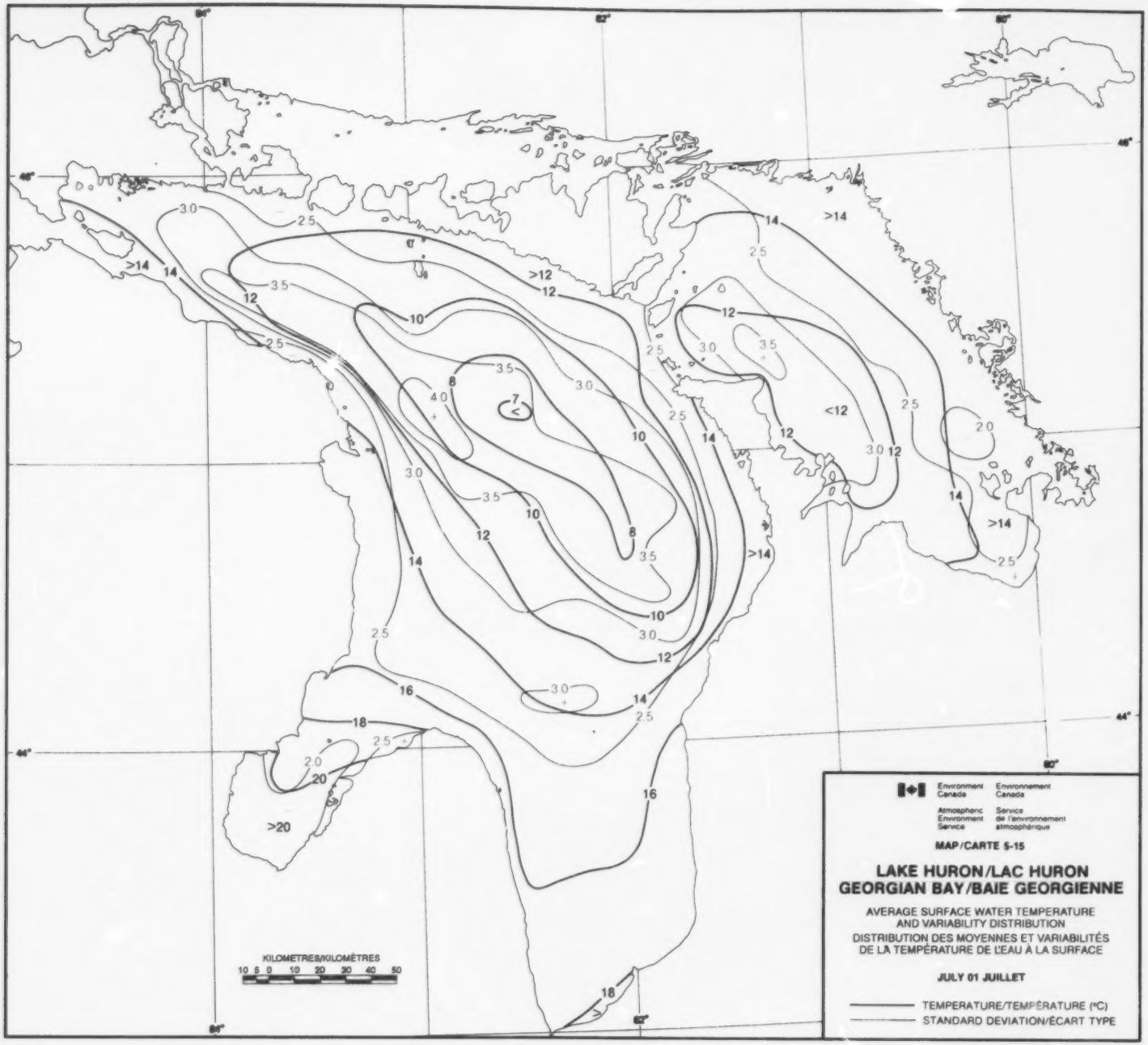
La variabilité des températures a augmenté considérablement par rapport à la mi-juin dans les profondes et froides régions du lac Huron (voir carte 5-14), ce qui reflète l'existence d'un épilimnion, dépendant des conditions météorologiques et encore très mince. Durant cette période où l'énergie solaire est maximale, la surface de la couche stratifiée peut connaître un réchauffement extrême et une augmentation considérable de température par temps clair et calme. En outre, un brassage turbulent engendré par le vent peut facilement effacer la mince stratification de surface, abaissant ainsi énormément les températures.

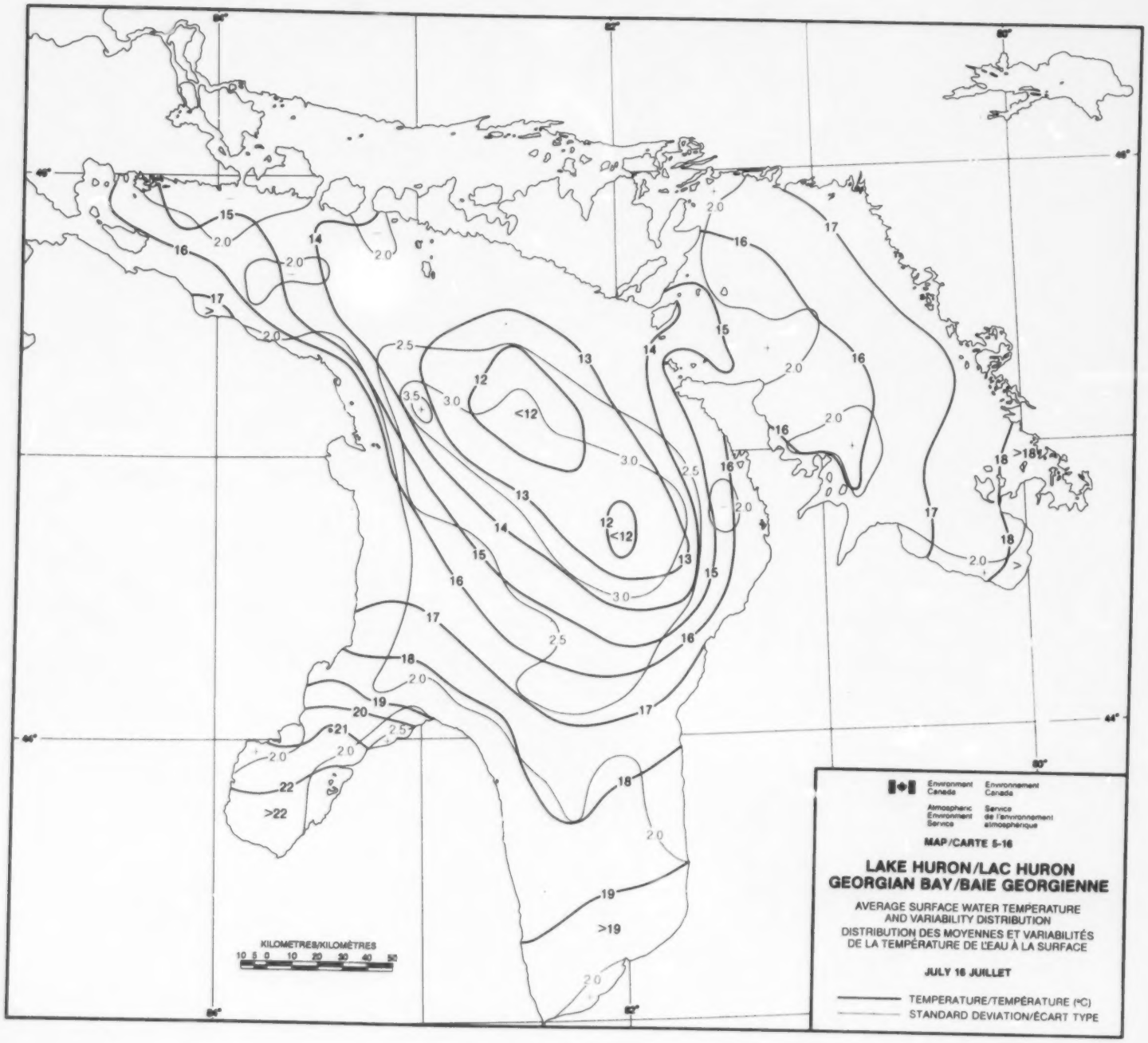
Dans la froide région du centre du lac Huron, la grande amplitude (3,5 à 4,0 degrés) semble révéler que les températures de surface peuvent demeurer inférieures à 4 degrés près de PG26 et de PG27 par printemps froid.

Carte 5-16 16 juillet

Les gradients de température diminuent dans l'épilimnion, qui a presque atteint le stade de maturité dans la baie Georgienne et le sud du lac Huron. La configuration de l'isotherme de la baie Georgienne est de moins en moins liée à la profondeur. Le transport vers l'est des eaux de surface sous l'influence


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-14
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JUNE 16 JUIN
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-15
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JULY 01 JUILLET
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-16
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JULY 16 JUILLET
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50

Upwelling of colder water is occurring along the eastern shore of Fitzwilliam Island, in the vicinity of GP15.

In the deeper areas of the northern basin of Lake Huron, the epilimnion is still relatively thin. Therefore, the isotherm pattern maintains a relationship to depth and temperature variability is also large (2.5+ to 3.5+ degrees).

The effect of upwelling under the prevailing westerly winds is seen in the temperature field along the north shore of Lake Huron. Stripping and transport of surface water southeastward and surfacing of colder water from below prevents the formation of a surface temperature gradient along the north shore; the surface temperature is kept at a cool 13 to 15 degrees.

Map 5-17 August 1

Temperature gradients are decreasing in the thick epilimnion and the isotherm pattern is shaped mainly by wind-induced circulation.

In Georgian Bay, the flat surface temperature gradient is aligned in a northwest-southeast direction. The southeastward transport of surface water is compensated for by upwelling in the northwest region. The upwelling is indicated by the slightly larger temperature variability (2.0+) and temperature of less than 17 degrees in the vicinity of GP15.

A lingering semblance of the temperature-to-depth relationship in the deepest region of the northern basin of Lake Huron is suggested by the configuration of the 17 and 18-degree isotherms and the variability high of 3.0+ in the vicinity of GP43. Upwelling along the north shore is indicated by surface temperature of less than 16 degrees and 2.5+ variability in the vicinity of GP6, GP7 and GP8.

Temperature variability is generally smaller in the southern than in the northern basin of Lake Huron. The 2.0-degree standard deviation isopleth aligns quite closely with the underwater ridge that runs between GP31 and GP82 and forms the boundary between the two basins of Lake Huron, as described in the discussion of Map 5-9. Surface temperature variability is smaller in the thicker and warmer epilimnion of the shallower southern basin. The variability high (2.5+) in the vicinity of GP90 occurs in a possible upwelling region [27].

des vents d'ouest dominants a entraîné la création d'un gradient de température de surface d'ouest en est. On constate une remontée d'eau plus froide le long de la rive est de l'île Fitzwilliam, près de PG15.

Dans les zones plus profondes du bassin nord du lac Huron, l'épilimnion reste relativement mince. La configuration des isothermes reste donc fonction de la profondeur et la variabilité des températures est aussi considérable (2,5+ à 3.5+ degrés).

L'effet de la remontée d'eau entraînée par les vents d'ouest dominants s'observe dans le champ thermique le long de la rive nord du lac Huron. Le "rabotage" et le transport d'eau de surface dans le sud-est ainsi que l'apparition en surface d'eau plus froide empêchent la formation d'un gradient thermique le long de la rive sud; la température reste fraîche (13 à 15 degrés).

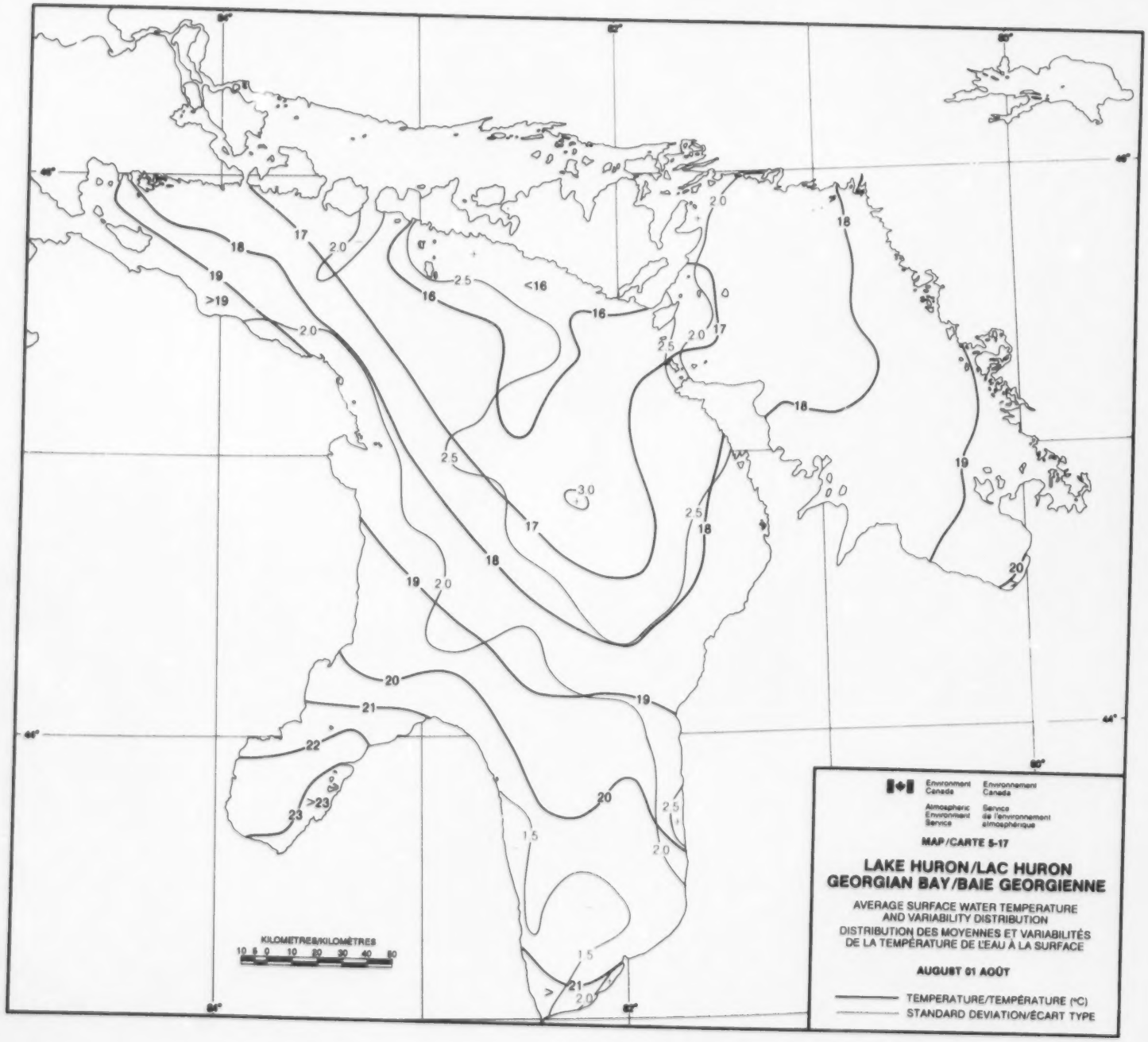
Carte 5-17 1er août

Les gradients thermiques diminuent dans l'épilimnion épais et la configuration des isothermes est essentiellement modelée par la circulation engendrée par le vent.

Dans la baie Georgienne, le gradient des températures de surface, plat, est aligné dans la direction nord-ouest-sud-ouest. Le transport d'eau de surface vers le sud-est est compensé par une remontée d'eau dans la région du nord-ouest. La remontée d'eau correspond à la variabilité légèrement plus importante (2,0+) et pas la température inférieure à 17 degrés près de PG15.

Un semblant de rapport température/profondeur persiste dans la région la plus profonde du bassin nord du lac Huron, comme en témoigne la configuration des isothermes de 17 et de 18 degrés et le maximum de variabilité de 3,0+ près de PG43. Les remontées d'eau que l'on constate le long de la rive nord sont indiquées par des températures inférieures à 6 degrés et pas une variabilité de 2,5+ au voisinage de PG6, PG7 et PG8.

La variabilité thermique est généralement plus faible dans la partie sud que dans la partie nord du lac Huron. L'isoplète de 2,0 degrés correspond à la crête sous-marine qui s'étend entre PG31 et PG82 et forme la limite entre les deux bassins du lac Huron (se reporter à la discussion de la carte 5-9). La variabilité est plus faible dans l'épilimnion plus chaud et plus épais du bassin sud, le moins profond des deux. Le maximum de variabilité (2,5+) au voisinage de PG90 est situé dans une région où les remontées d'eau sont possibles [27].


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-17
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
AUGUST 01 AOÛT
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 80
<16
>19
>23
>21

Map 5-18 August 16

Lake Huron and Georgian Bay water temperatures reach their summer maximum in mid-August. The changes in the temperature and variability fields since the beginning of the month can be noted by comparing Maps 5-17 and 5-18.

In Georgian Bay, the 19 and 18-degree isotherms have advanced northwestward and the 17-degree isotherm has disappeared from the surface.

In Lake Huron, there is a general decrease in temperature variability. The isotherm configuration remains almost unchanged from the August 1 situation in the southern basin of Lake Huron. In fact, the temperature appears to be already on a downward trend in Saginaw Bay. The rise in temperature since August 1 has occurred entirely in the northern basin, where the 18-degree isotherm now occupies the position held by the 17-degree isotherm at the beginning of the month, and the 17-degree isotherm replaces the 16-degree isotherm in the north-shore upwelling region.

The increased temperature and decreased temperature variability in the upwelling region of Lake Huron (and to a lesser extent in Georgian Bay) are indications of the continuing input of heat to the sub-surface layers by turbulent mixing and a trend toward an isothermal state in the upper portion of the epilimnion. At the same time, the lake surface as a whole may be already experiencing a net radiation heat loss.

The upwelling region in the southern basin of Lake Huron, indicated by a variability high in the vicinity of GP90 on Map 5-17, is also evident in the variability pattern of Map 5-18.

Map 5-19 September 1

The first indications of fall cooling are most noticeable in the warmest regions of a lake, as shown by the retreat of the 19-degree isotherm from its mid-August position (see Map 5-18) into the southeastern region of Georgian Bay, and by the even greater contraction of the 20-degree isotherm into the south end of Lake Huron. Shallow water cooling is indicated by the southward curvature of the 17 and 18-degree isotherms in the near-shore regions of Georgian Bay and similar behaviour by the 18, 19, and 20-degree isotherms in

Carte 5-18 16 août

Les eaux du lac Huron et de la baie Georgienne atteignent une température maximale à la mi-août. Les variations des champs de température et de variabilité depuis le début du mois s'observent en comparant les cartes 5-17 et 5-18.

Ainsi, dans la baie Georgienne, les isothermes de 19 et de 18 degrés se sont avancés vers le nord-ouest et l'isotherme de 17 degrés est disparu de la surface.

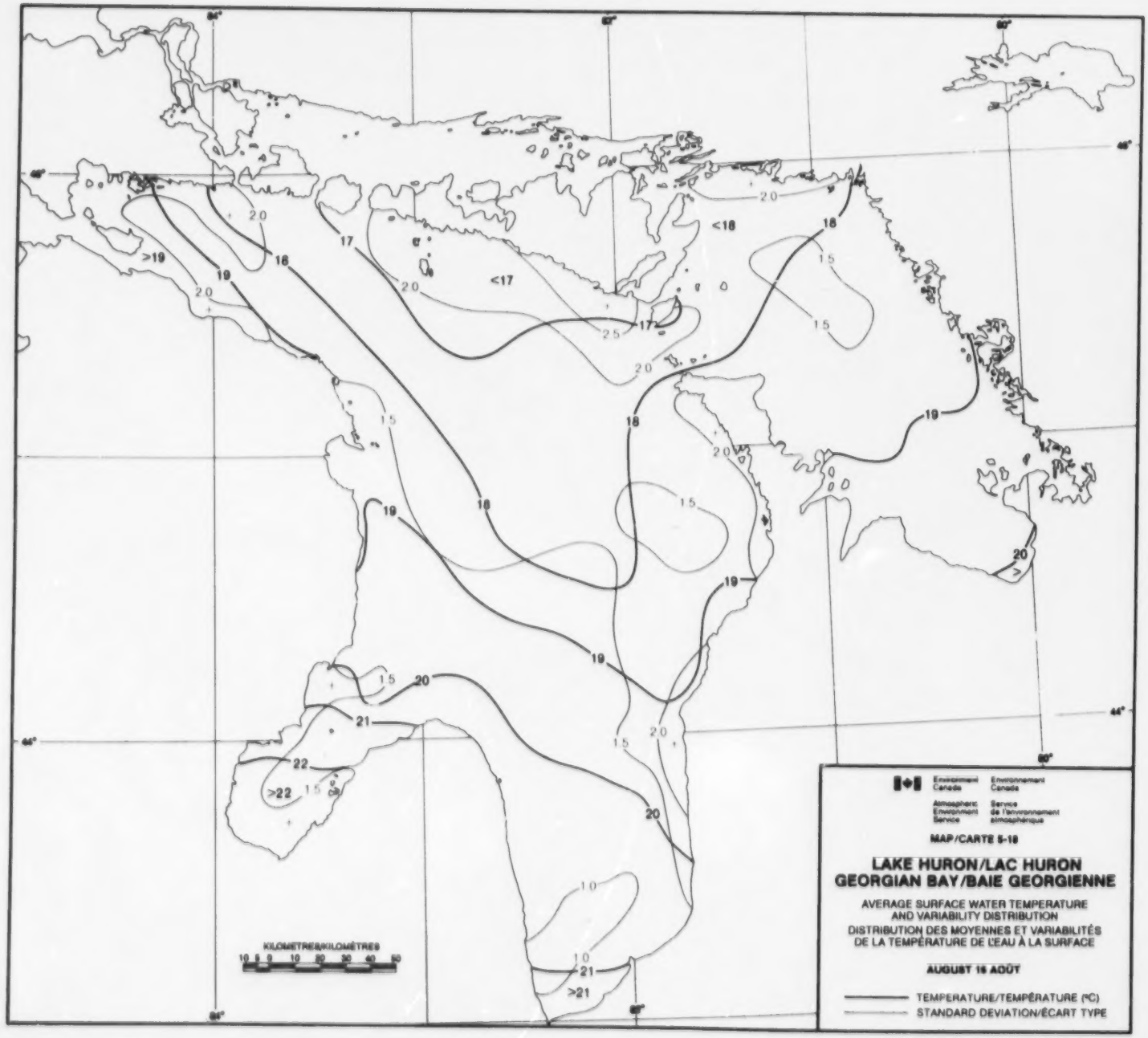
Dans le lac Huron, on note une diminution générale de la variabilité thermique. La configuration des isothermes demeure à peu près inchangée par rapport au 1er août dans le bassin du sud. En fait, il semble que la température diminue déjà dans la baie Saginaw. L'augmentation de température enregistrée depuis le 1er août s'est produite uniquement dans le bassin nord, où l'isotherme de 18 degrés occupe maintenant la position occupée par l'isotherme de 17 degrés au début du mois; de même, l'isotherme de 17 degrés remplace celui de 16 degrés dans la région de remontée d'eau qui longe la rive nord.

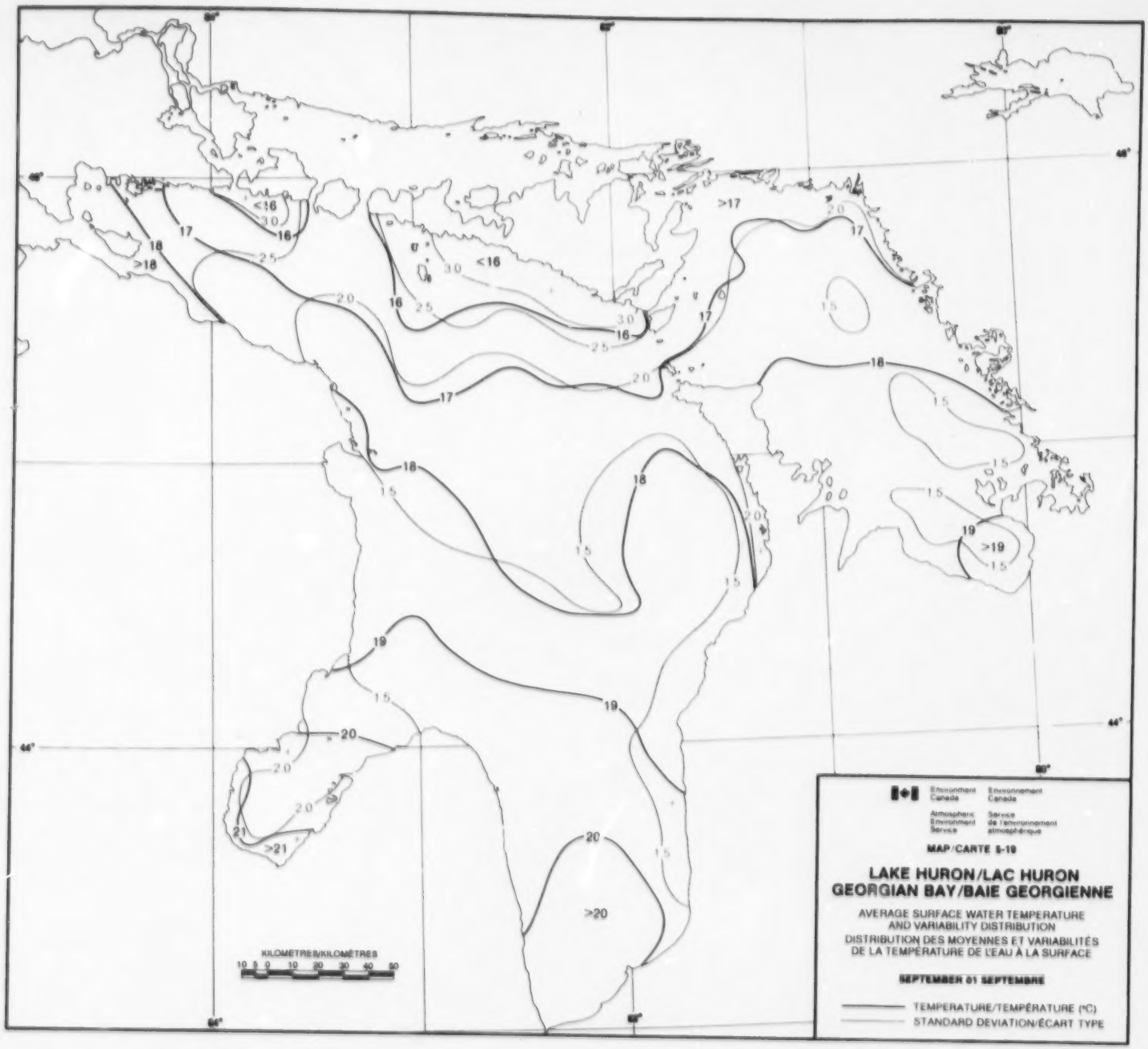
La hausse de température et la diminution de la variabilité dans la région de remontée d'eau du lac Huron (et dans une moindre mesure dans celle de la baie Georgienne), un apport continu de chaleur aux couches subsuperficielles par brassage turbulent donc, l'approche d'un état isotherme dans la portion supérieure de l'épilimnion. En même temps, il se peut que normalement la surface du lac connaisse une perte de chaleur nette par rayonnement.

La région de remontée d'eau de bassin sud du lac Huron, marquée par un maximum de variabilité près de PG90 (carte 5-17) apparaît également dans la configuration des variabilités à la carte 5-18.

Carte 5-19 1er septembre

Les premiers signes du refroidissement automnal sont les plus visibles dans les portions les plus chaudes d'un lac, comme le montre le recul de l'isotherme de 19 degrés depuis la position qu'il occupait à la mi-août (voir carte 5-18) jusqu'à la région sud-est de la baie Georgienne, ainsi que par une contraction encore plus marquée de l'isotherme de 20 degrés (qui atteint maintenant l'extrémité sud du lac Huron). Le refroidissement des eaux peu profondes est indiqué par la courbure vers le sud des isothermes de 17 et de


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-18
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
AUGUST 15 AOÛT
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 0 10 20 30 40 50
<17
<18
>19
>21
>22


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-19
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
SEPTEMBER 01 SEPTEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
<16
>17
>18
>19
>20
>21

Lake Huron. The shallow Saginaw Bay has cooled down significantly since mid-August.

The north-shore upwelling regions of Georgian Bay and Lake Huron show strong and extensive development in the isotherm and closely-associated variability patterns. The configuration of the variability and temperature patterns in these regions suggests that a near-isothermal surface temperature field of about 19 degrees can occur in these areas. This can indeed be the case during a late summer heat wave when strong southerly winds reverse the surface circulation; transport of warm surface water into the northern regions covers up the upwelling zones.

Map 5-20 September 16

Closed-isotherm temperature highs indicate rapid shallow water cooling in the south end of Georgian Bay and in Saginaw Bay of Lake Huron. Over-all, the surface temperature has decreased by about 2 degrees since the beginning of the month.

In a pattern similar to the September 1 situation (Map 5-19), large temperature variabilities persists in the north shore upwelling regions of Lake Huron and Georgian Bay.

Map 5-21 October 1

The closed-isotherm temperature highs, indicative of faster cooling in the shallower waters, persist in the south end of Georgian Bay and Lake Huron. As mixing penetrates to greater depths in the cooling epilimnion, the temperature of the surface layer approaches the isothermal state. Consequently, the well-organized gradient structure of the temperature and variability fields in the north shore upwelling region, apparent on Maps 5-19 and 5-20, is becoming less pronounced.

Map 5-22 October 16

Strong surface cooling and mixing to depth is breaking down stratification and bringing the deep waters to a near-isothermal state. Due to faster cooling in the shallow near-shore zone, the surface temperature field of the southern half

18 degrés dans les portions littorales de la baie Georgienne et par des courbes semblables dans les isothermes de 18, de 19 et de 20 degrés dans le lac Huron. La baie Saginaw, peu profonde, s'est refroidie beaucoup depuis la mi-août.

La région de remontée d'eau qui borde la rive nord de la baie Georgienne et du lac Huron correspond à un développement marqué des isothermes et des variabilités qui y sont étroitement associées. La configuration des variabilités et des températures dans ces régions suggère qu'un champ thermique de surface quasi-isotherme d'environ 19 degrés peut se produire dans ces régions. Cela peut notamment être le cas par suite d'une vague de chaleur à la fin de l'été lorsque, sous l'influence de puissants vents du sud, la circulation de surface est inversée; le transport d'eau superficielle chaude vers les régions du nord recouvre ainsi les zones de remontée.

Carte 5-20 16 septembre

Les maximums de température (isotherme fermé) montrent un refroidissement rapide des eaux peu profondes dans l'extrémité sud de la baie Georgienne et dans la baie Saginaw. Globalement, la température a diminué d'environ 2 degrés depuis le début septembre.

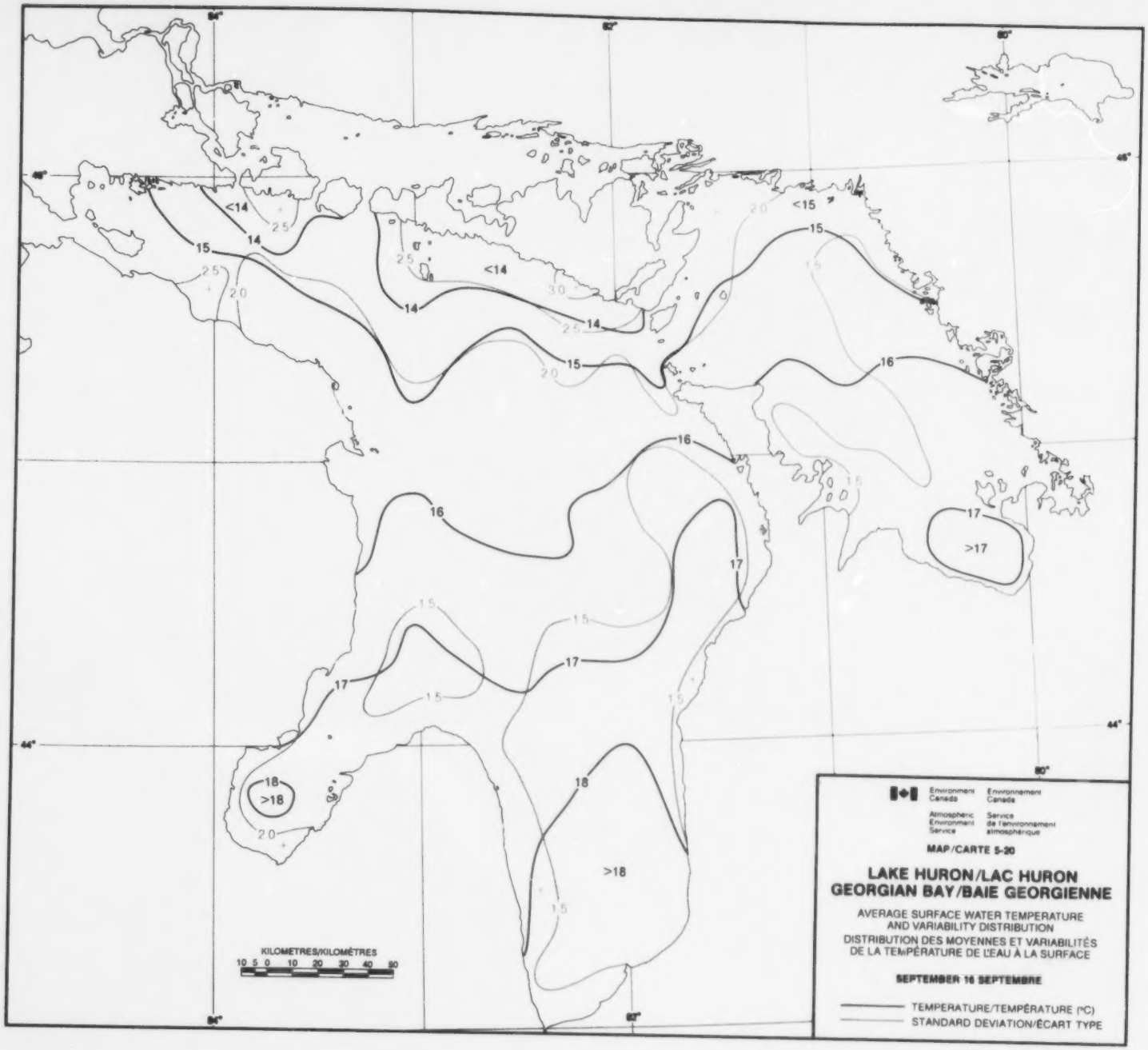
Un peu comme le 1er septembre (carte 5-19), d'importantes variabilités thermiques persistent dans les régions de remontée d'eau de la rive nord du lac Huron et de la baie Georgienne.

Carte 5-21 1er octobre

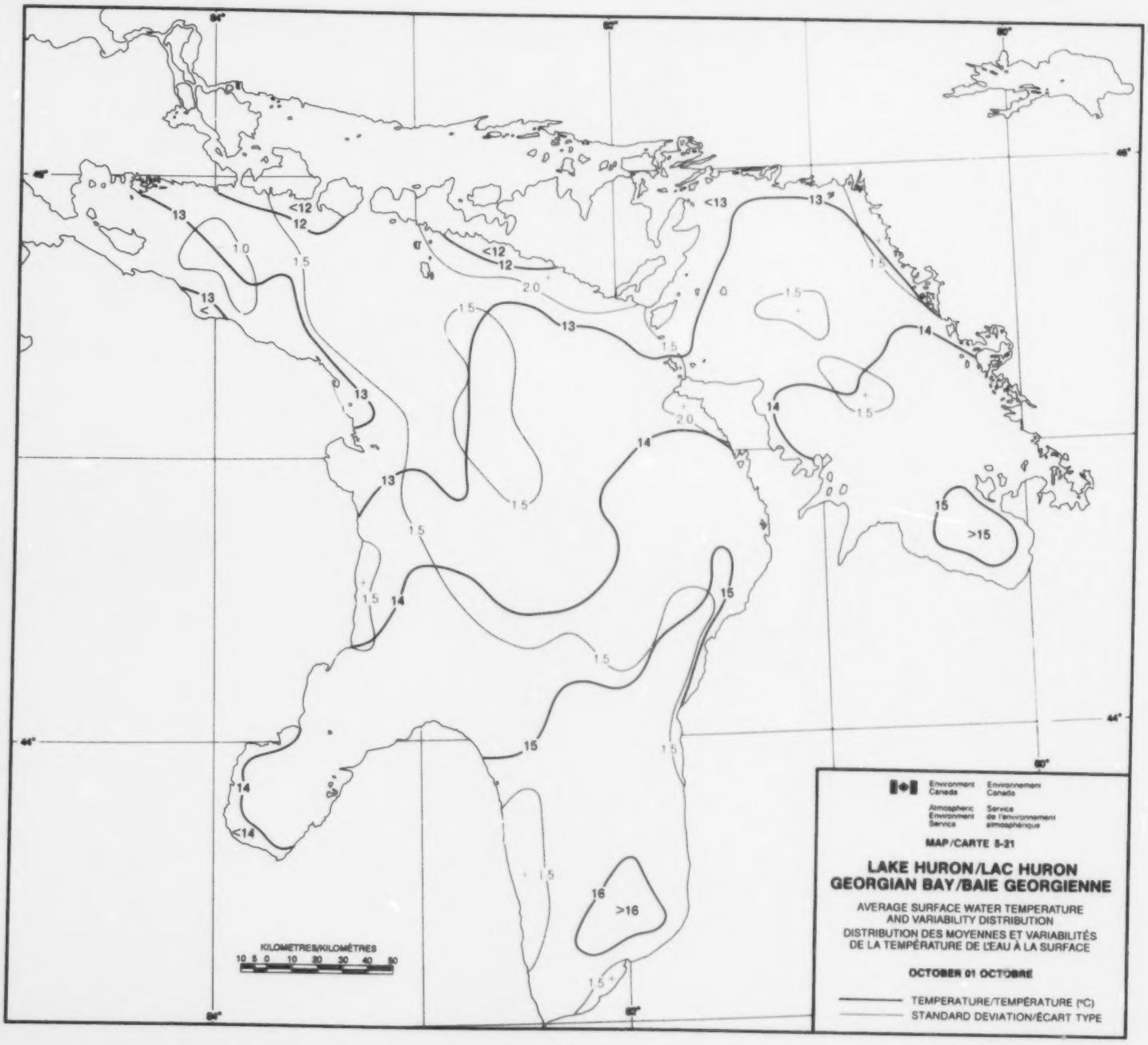
Les maximums de température (isotherme fermé), correspondant à un refroidissement plus rapide dans les eaux moins profondes, persistent à l'extrémité sud de la baie Georgienne et du lac Huron. A mesure que le brassage se fait de plus en plus profondément dans l'épilimnion qui se refroidit, la température de la strate de surface s'approcher de l'état isotherme. En conséquence, la structure bien organisée du gradient des champs de température et de variabilité de la région de remontée de la rive nord, visible sur les cartes 5-19 et 5-20, s'estompe.

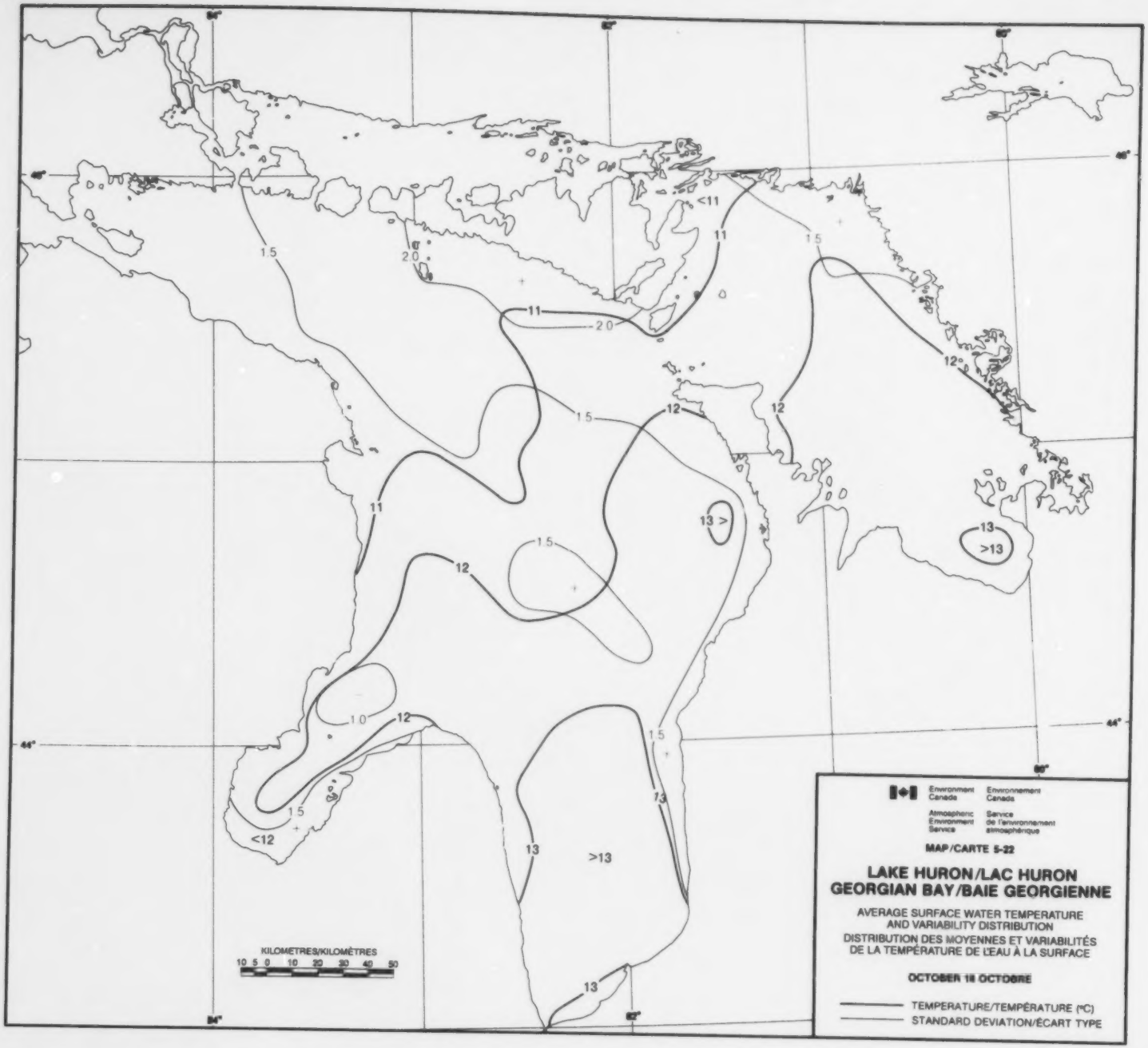
Carte 5-22 16 octobre

Sous l'effet d'un refroidissement marqué à la surface et d'un brassage profond, la stratification se défait et les eaux profondes tendent vers un état quasi-isotherme. A cause du refroidissement plus rapide dans la zone littorale



Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-20
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
SEPTEMBER 16 SEPTEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-21
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
OCTOBER 01 OCTOBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
<12
12
13
14
15
>15
16
>16
1.0
1.5
2.0


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-22
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
OCTOBER 16 OCTOBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
<11
11
12
13
>13
<12
1.0
1.5
2.0

of Lake Huron is reverting to a depth-related pattern. However, a general northwest to southeast surface temperature gradient is maintained by southeastward transport of surface water. The north-shore upwelling region in Lake Huron is no longer defined by the isotherm pattern, but can be discerned by slightly larger variability (2.0+ degrees).

Map 5-23 November 1

The surface temperature field is shaped by accelerated shallow water cooling and southeastward transport of surface water under strong northwest winds. A depth-related surface temperature pattern is becoming pronounced in the shallower southern regions of Georgian Bay (the closed 10-degree isotherm) and Lake Huron (the closed 11-degree isotherm). The general northwest to southeast temperature gradient is maintained by southeastward transport of surface water. The northwestward protrusion of the 9 and 10-degree isotherms along the northeast shore of Lake Huron suggests a compensating surface return flow. The temperature variability range is small (1.0- to 1.5+) in the strongly mixed water mass.

Map 5-24 November 16

The increasing surface cooling and the unequal cooling rate - faster in the shallow than in the deep waters - is progressively reshaping the surface temperature field into a depth-related pattern. In Lake Huron, the warmer deep waters of the north and south basins, which are separated by the mid-lake ridge (refer to discussion of Map 5-9) coincide with the 8-degree closed isotherm areas of the temperature field. Variability remains very uniform, at 1.0+/- degrees, in the strongly mixed, near-isothermal water mass.

Map 5-25 December 1

The fall overturn is nearing completion in the near-shore zone. In shallow Saginaw Bay, cooling has progressed into the winter stratification phase.

moins profonde, le champ de températures de surface de la moitié sud du lac Huron recommence à se conformer à la profondeur. Cependant, un gradient de températures de surface générales nord-ouest-sud-est se maintient sous l'effet du transport vers le sud-est des eaux de surface. La région de remontée d'eau qui borde la rive nord du lac Huron n'est plus définie par la configuration des isothermes, mais peut être distinguée par une variabilité légèrement supérieure (2,0+ degrés).

Carte 5-23 1er novembre

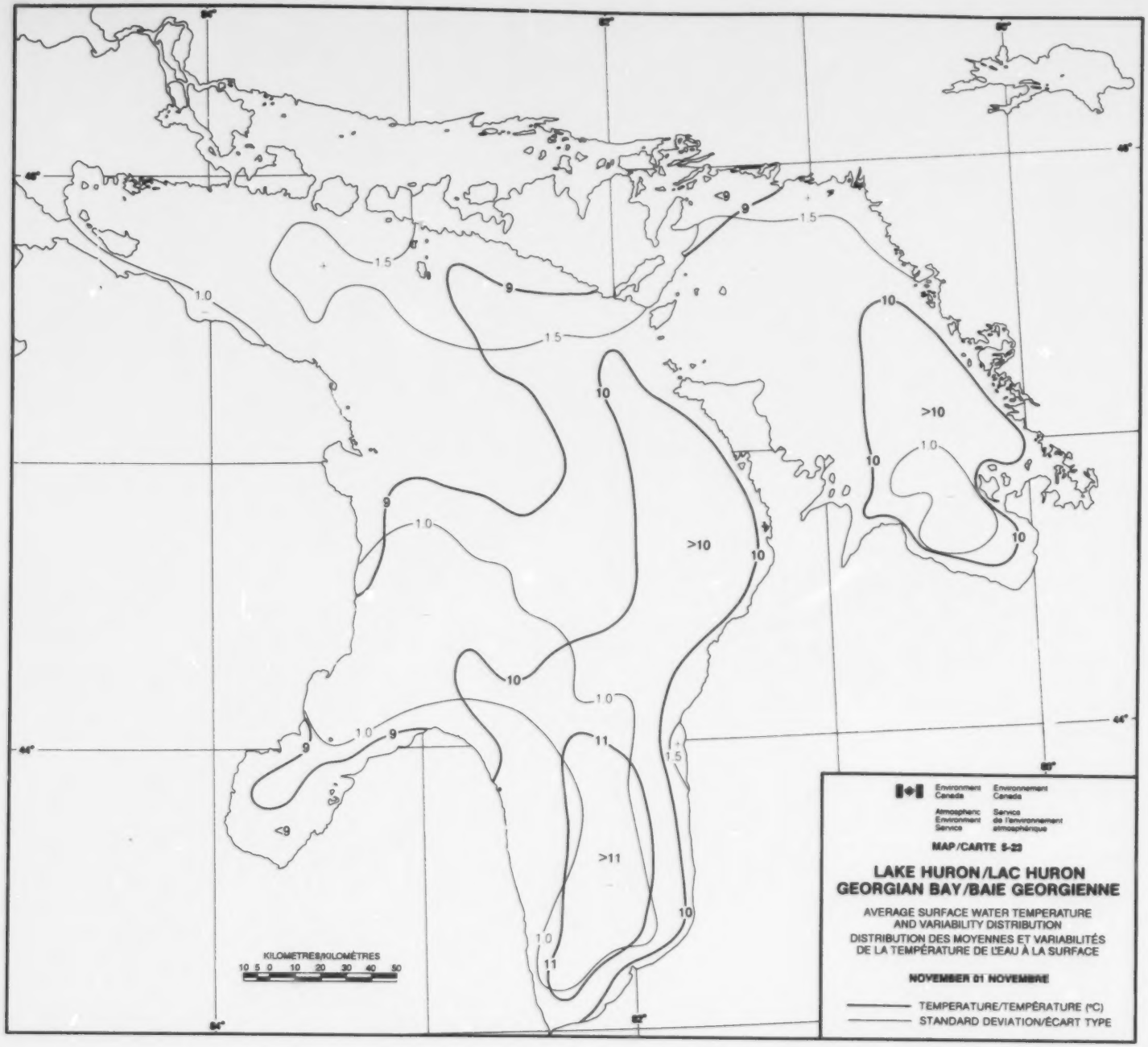
Le champ des températures de surface est façonné par le refroidissement accéléré des eaux peu profondes et le transport vers le sud-est des eaux de surface résultant de puissants vents du nord-ouest. Une configuration des températures de surface fonction de la profondeur devient apparente dans les régions du sud moins profondes de la baie Georgienne (isotherme fermé de 10 degrés) et du lac Huron (isotherme fermé de 11 degrés). Le gradient thermique général nord-ouest-sud-est se maintient sous l'effet du transport vers le sud-est des eaux de surface. L'avancée vers le nord-ouest des isothermes de 9 et 10 degrés le long de la rive nord-est du lac Huron révèle la présence d'un écoulement de retour en surface. La variabilité des températures varie peu (1,0- à 1,5+) dans la masse d'eau très bien mélangée.

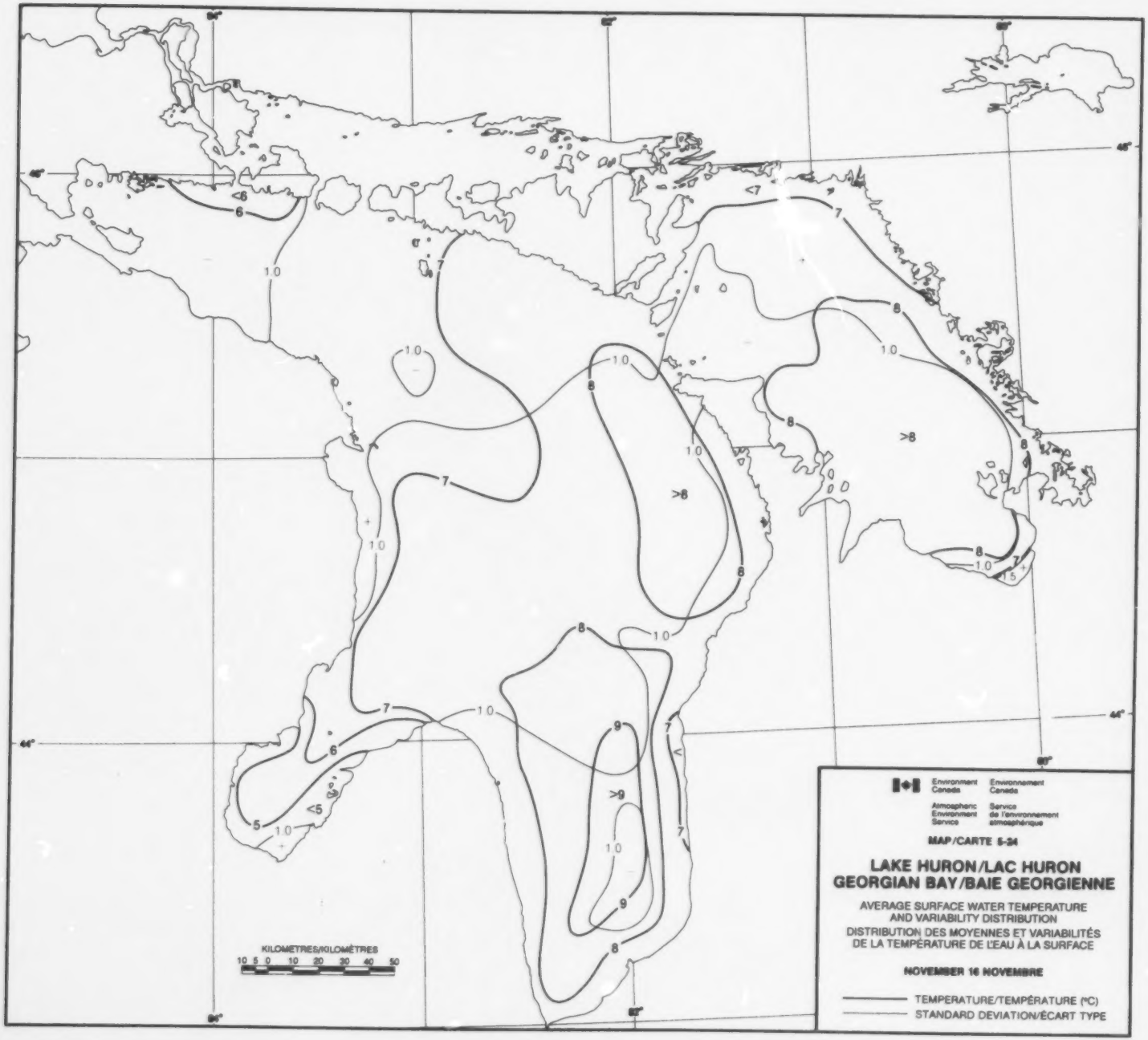
Carte 5-24 16 novembre

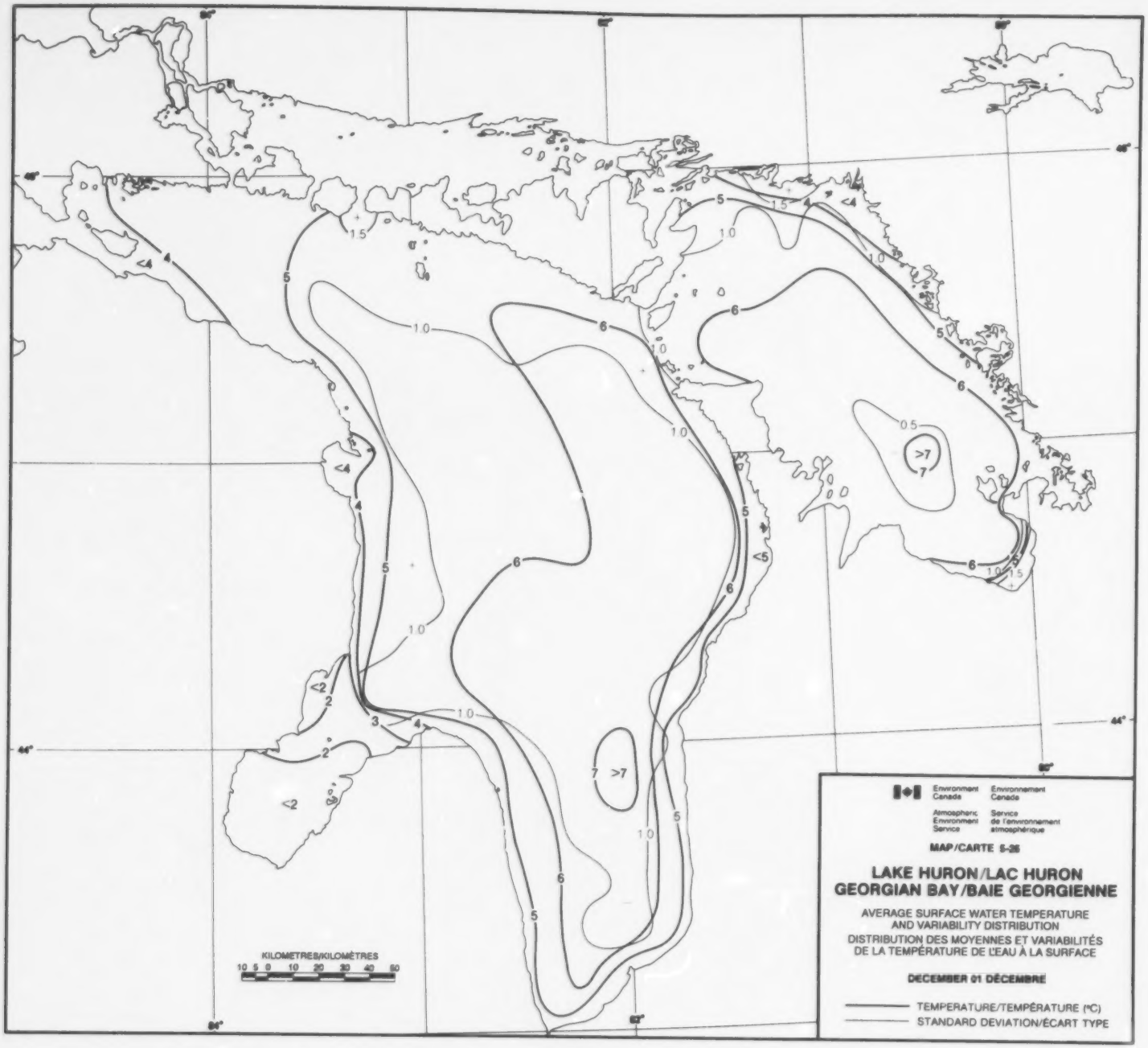
L'accélération du refroidissement en surface et le taux de refroidissement inégal (plus rapide dans les eaux les moins profondes) transforment progressivement le champ de température de surface en une configuration qui est fonction de la profondeur. Ainsi, dans le lac Huron, les eaux profondes plus chaudes des bassins du nord et du sud, séparées par la crête médio-lacustre (voir la discussion de la carte 5-9) coïncide avec les isothermes fermés de 8 degrés du champ thermique. La variabilité demeure très uniforme (1,0+/- degré) dans la masse d'eau très bien mélangée, quasi-isotherme.

Carte 5-25 1er décembre

Le renversement automnal est presque achevé dans la zone littorale. Dans la baie Saginaw peu profonde, le refroidissement a cédé la place au stade de la stratification hivernale.


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-23
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
NOVEMBER 01 NOVEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
<9
9
10
11
>10
>11
1.0
1.5


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-34
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
NOVEMBER 16 NOVEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-26
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
DECEMBER 01 DÉCEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50

The isotherm pattern is increasingly depth-related. However, the pronounced eastward bulge in the 6-degree isotherm in the central region of Lake Huron is still indicative of the eastward transport of surface water by the prevailing westerly winds. In Georgian Bay, near-shore cooling is not apparent along the east side of the Bruce Peninsula, due to the proximity of deep water at the shore along the steep slope of the escarpment (see Map 5-2B).

Temperature variability is also becoming organized into a depth-related pattern. Surface temperature variability is greater in near-shore zone, because the surface temperature of the shallow waters is affected by variations in daily and seasonal weather conditions. A relatively steady surface temperature is maintained in the deep water mass, which is mixed to depth and cools at a gradual rate.

Due to scarcity of data, temperature variability is unavailable in the western portions of Lake Huron from GP102 to GP123.

Map 5-26 December 16

Fall overturn is near completion and the surface temperature field conforms to a depth-related pattern. The variability pattern is organized in a similar fashion. Surface temperature variability is small (0.5- to 1.0) in the unstratified, freely-mixing deep water mass, and increases to 1.5+ in the winter-stratified near-shore zone, where surface temperature responds to changing weather conditions.

Ice can occur in the southern half of Saginaw Bay. Note that variability data are unavailable for Saginaw Bay and the northwest arm of Lake Huron, due to scarcity of data for GP102 to GP123.

The absence of a surface temperature gradient along the east shore of the Bruce Peninsula in Georgian Bay is due to the proximity of deep water along the face of the Niagara Escarpment.

La configuration des isothermes est de plus en plus fonction de la profondeur. Le renflement prononcé vers l'est de l'isotherme de 6 degrés dans la région centrale du lac Huron révèle encore cependant l'existence d'un transport vers l'est de l'eau de surface sous l'influence des vents d'ouest dominants. Dans la baie Georgienne, le refroidissement littoral n'est pas apparent le long du côté est de la péninsule Bruce à cause de la proximité des eaux profondes le long de la pente abrupte de l'escarpement (voir la carte 5-2B).

La variabilité thermique s'organise aussi en fonction de la profondeur. La variabilité des températures de surface est supérieure dans la zone littorale plus touchée par les variations des conditions quotidiennes et saisonnières de températures. Une température de surface relativement stable se maintient dans la masse d'eau profonde, brassée jusqu'au fond et qui se refroidit graduellement.

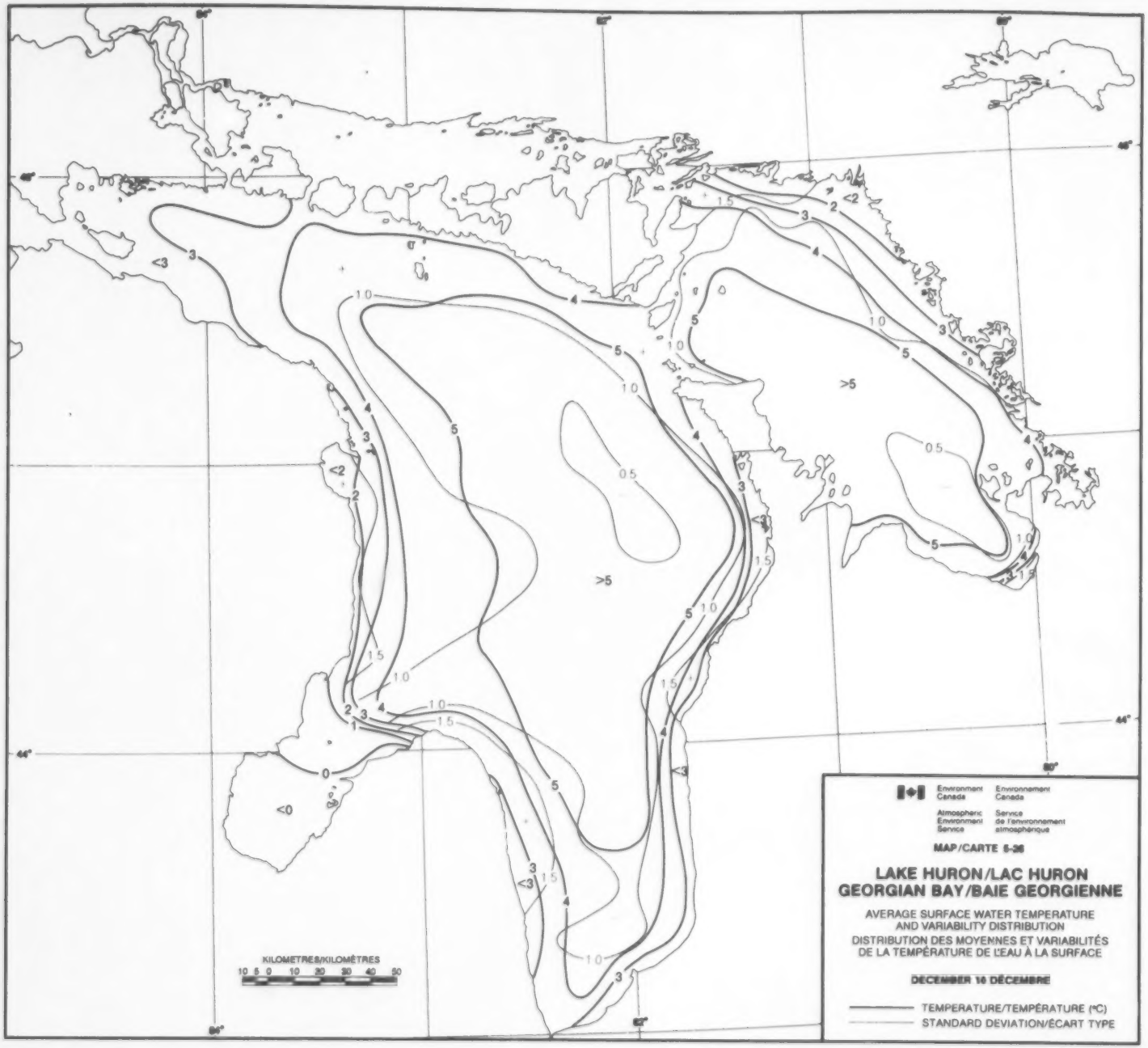
A cause du manque de données, nous n'avons pu déterminer la variabilité des températures dans les portions ouest du lac Huron, de PG102 à PG123.

Carte 5-26 16 décembre

Le renversement automnal est presque achevé et la configuration du champ des températures de surface et de la variabilité sont fonction de la profondeur. La variabilité des températures de surface est faible (0,5- à 1,0) dans la masse d'eau non stratifiée à brassage libre et s'accroît à 1,5+ dans la zone littorale à stratification hivernale où les températures de surface répondent aux variations des conditions météorologiques.

De la glace peut se former dans la moitié sud de la baie Saginaw. A cause du manque de données entre les PG102 et PG123, les données de variabilité ne sont pas disponibles pour la baie Saginaw et le bras nord-ouest du lac Huron.

L'absence d'un gradient de température de surface le long de la rive est de la péninsule Bruce (baie Georgienne) est due à la proximité d'eau profonde le long de la face de l'escarpement du Niagara.


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 5-26
LAKE HURON/LAC HURON
GEORGIAN BAY/BAIE GEORGIENNE
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
DECEMBER 10 DÉCEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
>5
<0
<2
<3
0.5
1.0
1.5

SECTION 6

LAKE SUPERIOR WATER TEMPERATURE REGIME

RÉGIME DES TEMPÉRATURES DE L'EAU DU LAC SUPÉRIEUR

6.1 Lake Superior Annual Temperature Cycle

The Lake Superior annual temperature cycle is defined in Table 6-1 and Figure 6-1.

The normal annual surface temperature range in Lake Superior is from -0.2 to 15.1 degrees. The negative lake-wide surface temperature in February is due to appreciable ice cover. The monthly mean temperature ranges from 0.0 degrees in February to 14.5 degrees in August.

In mild winters the minimum temperature remains at 0.1 to 0.5 degrees. In cold winters the lake can be largely ice-covered from the latter part of January to the end of March.

The normal maximum temperature occurs in the second half of August. The normal range of the summer maximum is from 12.7 to 17.5 degrees. In cool summers the peak temperature is reached at the end of August.

The largest variability in daily temperature occurs in July and August (standard deviation of 2.1 to 2.9 degrees). The smallest temperature variability (standard deviation of 0.1 to 0.2 degrees) occurs late in November and early in December when the water temperature approaches 4 degrees. A very constant surface temperature is maintained at this time by the well mixed isothermal water mass. A similar, but not as pronounced decrease in temperature variability occurs in May, prior to formation of summer stratification. Before density stratification is established in the surface layer, the large water mass is mixing freely and the incoming solar energy is being absorbed by the water mass as a whole. Consequently, surface temperature variability is small.

6.1 Cycle annuel des températures du lac Supérieur

Le cycle annuel des températures du lac Supérieur est défini au tableau 6-1 et illustré à la figure 6-1.

La température normale annuelle de la surface du lac Supérieur varie de -0,2 à 15,1 degrés. La température globale négative en février est liée à la présence d'une couverture de glace considérable. La température moyenne mensuelle varie de 0,0 degré en février à 14,5 degrés en août.

Lorsque les hivers sont doux, la température minimum demeure à 0,1 et 0,5 degrés. Lorsque les hivers sont rigoureux, le lac peut être largement couvert de glace de la dernière partie de janvier à la fin de mars.

La température normale maximum s'observe au cours de la deuxième moitié du mois d'août. Le maximum estival varie normalement de 12,7 à 17,5 degrés. Lorsque les étés sont frais, c'est à la fin d'août que la température atteint le maximum.

La plus importante variabilité des températures quotidiennes se produit en juillet et en août (écart type de 2,1 à 2,9 degrés). La plus faible variabilité thermique (écart type de 0,1 à 0,2 degrés) se produit à la fin de novembre et au début de décembre lorsque la température de l'eau s'approcher de 4 degrés. La couche superficielle, qui repose sur une masse d'eau isotherme bien brassée maintient une température constante. Une diminution de la variabilité des températures se produit comme en mai, bien que moins prononcée, avant la formation de la stratification estivale. Avant que ne s'établisse dans la couche superficielle la stratification de densité, la masse d'eau se mélange librement et absorbe globalement l'énergie solaire descendante. La variabilité des températures de surface est donc faible.

TABLE 6-1
Lake Superior Daily Mean Surface Water Temperature (Deg. C)

Day	Jan		Feb		Mar		Apr		May		Jun		Jul		Aug		Sep		Oct		Nov		Dec		Day
	T[1]	SD[2]	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	T	SD	
1	2.2	0.5	0.0	0.4	0.0	0.7	0.8	0.7	1.9	0.5	3.6	0.8	7.3	2.1	13.3	2.9	14.5	1.8	10.9	1.8	7.8	0.9	4.7	0.1	1
2	2.1	0.5	0.0	0.5	0.1	0.7	0.8	0.7	2.0	0.5	3.6	0.8	7.4	2.1	13.5	2.9	14.5	1.7	10.7	1.8	7.8	0.9	4.7	0.1	2
3	2.0	0.5	0.0	0.5	0.1	0.7	0.8	0.7	2.0	0.5	3.7	0.8	7.6	2.1	13.7	2.8	14.4	1.7	10.6	1.8	7.7	0.9	4.7	0.2	3
4	1.9	0.5	0.1	0.5	0.1	0.7	0.9	0.7	2.1	0.5	3.8	0.8	7.7	2.1	13.9	2.7	14.3	1.8	10.4	1.7	7.6	1.0	4.6	0.2	4
5	1.8	0.5	0.1	0.5	0.2	0.7	0.9	0.6	2.1	0.5	3.8	0.8	7.8	2.1	14.1	2.6	14.2	1.8	10.3	1.6	7.5	1.0	4.6	0.2	5
6	1.7	0.5	0.2	0.6	0.2	0.7	0.9	0.6	2.2	0.5	3.9	0.9	8.0	2.2	14.2	2.5	14.0	1.9	10.2	1.5	7.4	1.0	4.5	0.2	6
7	1.7	0.5	0.2	0.6	0.2	0.7	0.9	0.6	2.2	0.5	4.0	0.9	8.2	2.3	14.3	2.5	13.8	1.9	10.1	1.4	7.3	0.9	4.4	0.2	7
8	1.6	0.5	0.1	0.5	0.3	0.7	1.0	0.6	2.2	0.5	4.1	0.9	8.5	2.4	14.3	2.5	13.6	2.0	10.0	1.3	7.2	0.9	4.2	0.3	8
9	1.5	0.5	0.1	0.5	0.3	0.7	1.0	0.6	2.2	0.5	4.2	0.9	8.8	2.5	14.3	2.4	13.4	2.1	9.9	1.2	7.1	0.9	4.1	0.3	9
10	1.4	0.5	0.0	0.5	0.3	0.7	1.1	0.6	2.3	0.5	4.2	0.9	9.2	2.5	14.4	2.4	13.3	2.1	9.8	1.2	6.9	0.8	4.0	0.3	10
11	1.4	0.5	-0.1	0.4	0.3	0.7	1.1	0.6	2.3	0.4	4.3	0.9	9.6	2.6	14.4	2.4	13.2	2.2	9.7	1.2	6.7	0.8	3.9	0.3	11
12	1.3	0.5	-0.2	0.4	0.3	0.7	1.2	0.6	2.4	0.4	4.4	1.0	9.8	2.7	14.4	2.4	13.2	2.2	9.6	1.2	6.6	0.8	3.9	0.3	12
13	1.2	0.5	-0.2	0.3	0.3	0.7	1.2	0.6	2.4	0.5	4.4	1.1	10.1	2.7	14.5	2.4	13.1	2.2	9.5	1.2	6.5	0.7	3.8	0.3	13
14	1.1	0.5	-0.2	0.3	0.4	0.7	1.3	0.6	2.5	0.5	4.6	1.2	10.2	2.7	14.6	2.4	12.9	2.1	9.4	1.2	6.3	0.7	3.6	0.3	14
15	1.0	0.5	-0.2	0.4	0.4	0.7	1.3	0.6	2.5	0.5	4.7	1.4	10.3	2.6	14.7	2.4	12.8	2.1	9.4	1.3	6.2	0.7	3.6	0.3	15
16	0.9	0.4	-0.2	0.3	0.4	0.7	1.3	0.6	2.6	0.5	4.9	1.5	10.4	2.6	14.9	2.4	12.6	2.0	9.3	1.3	6.1	0.6	3.5	0.3	16
17	0.8	0.4	-0.2	0.3	0.4	0.7	1.4	0.6	2.6	0.4	5.1	1.7	10.6	2.6	15.0	2.4	12.4	1.9	9.2	1.3	6.0	0.6	3.4	0.3	17
18	0.7	0.4	-0.2	0.3	0.4	0.7	1.4	0.6	2.7	0.4	5.3	1.7	10.7	2.6	15.1	2.4	12.3	1.8	9.1	1.3	5.9	0.6	3.4	0.3	18
19	0.7	0.4	-0.2	0.4	0.5	0.7	1.5	0.6	2.7	0.4	5.5	1.8	10.8	2.5	15.1	2.4	12.2	1.7	9.0	1.4	5.8	0.6	3.3	0.3	19
20	0.6	0.4	-0.1	0.4	0.5	0.7	1.5	0.6	2.8	0.4	5.7	1.8	11.0	2.5	15.1	2.4	12.1	1.7	8.8	1.4	5.8	0.6	3.3	0.3	20
21	0.6	0.4	-0.1	0.4	0.5	0.7	1.5	0.6	2.8	0.4	5.9	1.9	11.2	2.5	15.1	2.4	12.1	1.6	8.7	1.4	5.7	0.6	3.2	0.3	21
22	0.5	0.4	-0.1	0.5	0.5	0.7	1.5	0.6	2.8	0.4	6.0	1.9	11.4	2.5	15.0	2.4	12.0	1.6	8.6	1.3	5.6	0.6	3.2	0.3	22
23	0.5	0.4	0.0	0.5	0.6	0.7	1.5	0.6	2.9	0.4	6.2	1.9	11.6	2.4	14.9	2.4	12.0	1.6	8.4	1.2	5.5	0.6	3.1	0.3	23
24	0.4	0.4	0.0	0.6	0.6	0.7	1.6	0.6	2.9	0.4	6.3	1.9	11.9	2.4	14.9	2.4	11.9	1.6	8.4	1.1	5.4	0.6	3.0	0.4	24
25	0.3	0.4	0.0	0.6	0.7	0.8	1.6	0.6	3.0	0.4	6.5	2.0	12.2	2.5	14.9	2.3	11.8	1.7	8.3	1.1	5.2	0.5	2.9	0.4	25
26	0.3	0.4	0.0	0.6	0.7	0.8	1.6	0.6	3.1	0.5	6.6	2.0	12.3	2.6	14.9	2.2	11.7	1.7	8.2	1.0	5.1	0.4	2.8	0.4	26
27	0.2	0.4	0.0	0.6	0.8	0.8	1.7	0.5	3.2	0.5	6.7	2.0	12.5	2.7	14.8	2.2	11.6	1.8	8.2	0.9	5.0	0.3	2.7	0.4	27
28	0.2	0.4	0.0	0.6	0.8	0.8	1.7	0.5	3.3	0.6	6.8	2.0	12.6	2.8	14.8	2.1	11.4	1.8	8.1	0.9	4.8	0.2	2.6	0.4	28
29	0.1	0.4			0.8	0.7	1.8	0.5	3.3	0.7	6.9	2.0	12.7	2.9	14.7	2.1	11.2	1.9	8.0	0.9	4.8	0.2	2.5	0.4	29
30	0.1	0.4			0.8	0.7	1.9	0.5	3.4	0.7	7.1	2.0	12.9	2.9	14.6	1.9	11.1	1.8	7.9	0.9	4.7	0.1	2.4	0.5	30
31	0.0	0.4			0.8	0.7			3.5	0.8			13.0	3.1	14.6	1.8			7.8	0.9			2.3	0.5	31
Mean	1.0	0.4	0.0	0.5	0.4	0.7	1.3	0.6	2.6	0.5	5.1	1.4	10.3	2.5	14.5	2.4	12.8	1.9	9.2	1.3	6.3	0.7	3.6	0.3	

[1] = Mean Temperature (Deg. C)
[2] = Standard deviation of mean temperature (Deg. C)

TABLEAU 6-1
Températures quotidiennes moyennes des eaux de surface du lac Supérieur

jour	janv. T[1]	janv. ÉT[2]	fév. T	fév. ÉT	mars T	mars ÉT	avr. T	avr. ÉT	mai T	mai ÉT	juin T	juin ÉT	juil. T	juil. ÉT	août T	août ÉT	sept. T	sept. ÉT	oct. T	oct. ÉT	nov. T	nov. ÉT	déc. T	déc. ÉT	jour
1	2,2	0,5	0,0	0,4	0,0	0,7	0,8	0,7	1,9	0,5	3,6	0,8	7,3	2,1	13,3	2,9	14,5	1,8	10,9	1,8	7,8	0,9	4,7	0,1	1
2	2,1	0,5	0,0	0,5	0,1	0,7	0,8	0,7	2,0	0,5	3,6	0,8	7,4	2,1	13,5	2,9	14,5	1,7	10,7	1,8	7,8	0,9	4,7	0,1	2
3	2,0	0,5	0,0	0,5	0,1	0,7	0,8	0,7	2,0	0,5	3,7	0,8	7,6	2,1	13,7	2,8	14,4	1,7	10,6	1,8	7,7	0,9	4,7	0,2	3
4	1,9	0,5	0,1	0,5	0,1	0,7	0,9	0,7	2,1	0,5	3,8	0,8	7,7	2,1	13,9	2,7	14,3	1,8	10,4	1,7	7,6	1,0	4,6	0,2	4
5	1,8	0,5	0,1	0,5	0,2	0,7	0,9	0,6	2,1	0,5	3,8	0,8	7,8	2,1	14,1	2,6	14,2	1,8	10,3	1,6	7,5	1,0	4,6	0,2	5
6	1,7	0,5	0,2	0,6	0,2	0,7	0,9	0,6	2,2	0,5	3,9	0,9	8,0	2,2	14,2	2,5	14,0	1,9	10,2	1,5	7,4	1,0	4,5	0,2	6
7	1,7	0,5	0,2	0,6	0,2	0,7	0,9	0,6	2,2	0,5	4,0	0,9	8,2	2,3	14,3	2,5	13,8	1,9	10,1	1,4	7,3	0,9	4,4	0,2	7
8	1,6	0,5	0,1	0,5	0,3	0,7	1,0	0,6	2,2	0,5	4,1	0,9	8,5	2,4	14,3	2,5	13,6	2,0	10,0	1,3	7,2	0,9	4,2	0,3	8
9	1,5	0,5	0,1	0,5	0,3	0,7	1,0	0,6	2,2	0,5	4,2	0,9	8,8	2,5	14,3	2,4	13,4	2,1	9,9	1,2	7,1	0,9	4,1	0,3	9
10	1,4	0,5	0,0	0,5	0,3	0,7	1,1	0,6	2,3	0,5	4,2	0,9	9,2	2,5	14,4	2,4	13,3	2,1	9,8	1,2	6,9	0,8	4,0	0,3	10
11	1,4	0,5	-0,1	0,4	0,3	0,7	1,1	0,6	2,3	0,4	4,3	0,9	9,6	2,6	14,4	2,4	13,2	2,2	9,7	1,2	6,7	0,8	3,9	0,3	11
12	1,3	0,5	-0,2	0,4	0,3	0,7	1,2	0,6	2,4	0,4	4,4	1,0	9,8	2,7	14,4	2,4	13,2	2,2	9,6	1,2	6,6	0,8	3,9	0,3	12
13	1,2	0,5	-0,2	0,3	0,3	0,7	1,2	0,6	2,4	0,5	4,4	1,1	10,1	2,7	14,5	2,4	13,1	2,2	9,5	1,2	6,5	0,7	3,8	0,3	13
14	1,1	0,5	-0,2	0,3	0,4	0,7	1,3	0,6	2,5	0,5	4,6	1,2	10,2	2,7	14,6	2,4	12,9	2,1	9,4	1,2	6,3	0,7	3,6	0,3	14
15	1,0	0,5	-0,2	0,4	0,4	0,7	1,3	0,6	2,5	0,5	4,7	1,4	10,3	2,6	14,7	2,4	12,8	2,1	9,4	1,3	6,2	0,7	3,6	0,3	15
16	0,9	0,4	-0,2	0,3	0,4	0,7	1,3	0,6	2,6	0,5	4,9	1,5	10,4	2,6	14,9	2,4	12,6	2,0	9,3	1,3	6,1	0,6	3,5	0,3	16
17	0,8	0,4	-0,2	0,3	0,4	0,7	1,4	0,6	2,6	0,4	5,1	1,7	10,6	2,6	15,0	2,4	12,4	1,9	9,2	1,3	6,0	0,6	3,4	0,3	17
18	0,7	0,4	-0,2	0,3	0,4	0,7	1,4	0,6	2,7	0,4	5,3	1,7	10,7	2,6	15,1	2,4	12,3	1,8	9,1	1,3	5,9	0,6	3,4	0,3	18
19	0,7	0,4	-0,2	0,4	0,5	0,7	1,5	0,6	2,7	0,4	5,5	1,8	10,8	2,5	15,1	2,4	12,2	1,7	9,0	1,4	5,8	0,6	3,3	0,3	19
20	0,6	0,4	-0,1	0,4	0,5	0,7	1,5	0,6	2,8	0,4	5,7	1,8	11,0	2,5	15,1	2,4	12,1	1,7	8,8	1,4	5,8	0,6	3,3	0,3	20
21	0,6	0,4	-0,1	0,4	0,5	0,7	1,5	0,6	2,8	0,4	5,9	1,9	11,2	2,5	15,1	2,4	12,1	1,6	8,7	1,4	5,7	0,6	3,2	0,3	21
22	0,5	0,4	-0,1	0,5	0,5	0,7	1,5	0,6	2,8	0,4	6,0	1,9	11,4	2,5	15,0	2,4	12,0	1,6	8,6	1,3	5,6	0,6	3,2	0,3	22
23	0,5	0,4	0,0	0,5	0,6	0,7	1,5	0,6	2,9	0,4	6,2	1,9	11,6	2,4	14,9	2,4	12,0	1,6	8,4	1,2	5,5	0,6	3,1	0,3	23
24	0,4	0,4	0,0	0,6	0,6	0,7	1,6	0,6	2,9	0,4	6,3	1,9	11,9	2,4	14,9	2,4	11,9	1,6	8,4	1,1	5,4	0,6	3,0	0,4	24
25	0,3	0,4	0,0	0,6	0,7	0,8	1,6	0,6	3,0	0,4	6,5	2,0	12,2	2,5	14,9	2,3	11,8	1,7	8,3	1,1	5,2	0,5	2,9	0,4	25
26	0,3	0,4	0,0	0,6	0,7	0,8	1,6	0,6	3,1	0,5	6,6	2,0	12,3	2,6	14,9	2,2	11,7	1,7	8,2	1,0	5,1	0,4	2,8	0,4	26
27	0,2	0,4	0,0	0,6	0,8	0,8	1,7	0,5	3,2	0,5	6,7	2,0	12,5	2,7	14,8	2,2	11,6	1,8	8,2	0,9	5,0	0,3	2,7	0,4	27
28	0,2	0,4	0,0	0,6	0,8	0,8	1,7	0,5	3,3	0,6	6,8	2,0	12,6	2,8	14,8	2,1	11,4	1,8	8,1	0,9	4,8	0,2	2,6	0,4	28
29	0,1	0,4			0,8	0,7	1,8	0,5	3,3	0,7	6,9	2,0	12,7	2,9	14,7	2,1	11,2	1,9	8,0	0,9	4,8	0,2	2,5	0,4	29
30	0,1	0,4			0,8	0,7	1,9	0,5	3,4	0,7	7,1	2,0	12,9	2,9	14,6	1,9	11,1	1,8	7,9	0,9	4,7	0,1	2,4	0,5	30
31	0,0	0,4			0,8	0,7			3,5	0,8			13,0	3,1	14,6	1,8			7,8	0,9			2,3	0,5	31
moyenne	1,0	0,4	0,0	0,5	0,4	0,7	1,3	0,6	2,6	0,5	5,1	1,4	10,3	2,5	14,5	2,4	12,8	1,9	9,2	1,3	6,3	0,7	3,6	0,3	

[1] = température moyenne (degrés C)
[2] = écart type moyen (degrés C)

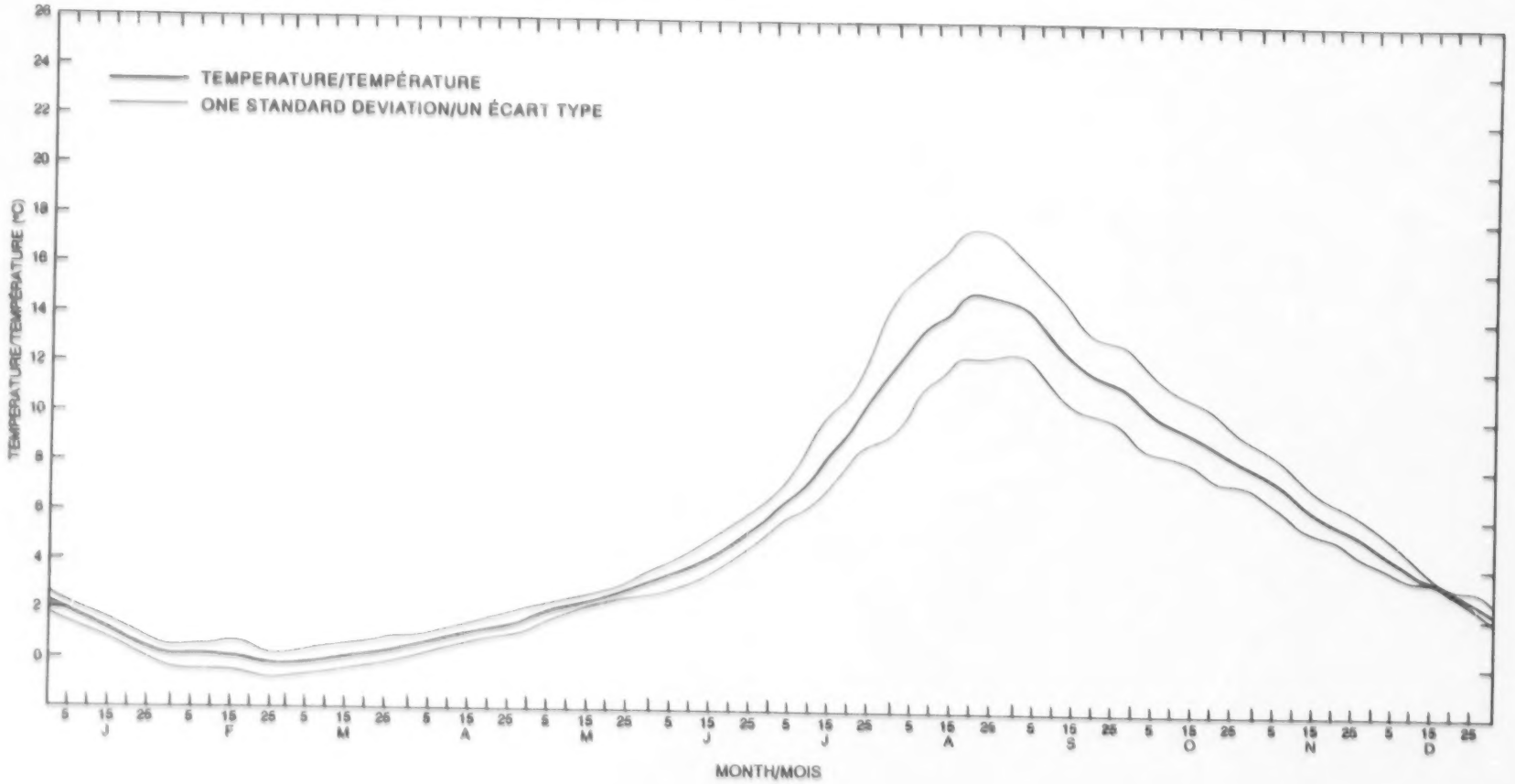


FIGURE 6-1 Lake Superior annual surface water temperature curve
Courbe du cycle annuel des températures des eaux de surface du lac Supérieur

6.2 Lake Superior Surface Water Temperature Structure

Lake Superior surface water temperature and temperature variability are discussed with reference to Maps 6-1 to 6-26. Grid point locations are shown on Map 6-1, lake depth on Map 6-2. Maps 6-3 to 6-26 show the beginning-of-month and middle-of-month surface water temperature and temperature variability structure. Brief remarks on the major structural features of the surface temperature and variability field of each map are given below.

Map 6-3 January 1

Winter stratification is normally established in Lake Superior by the beginning of January. The over-all surface temperature range is small, from greater than 3 degrees in the central regions of the lake to less than 1 degree in shallow near-shore areas and sheltered bays.

Temperature variability is only 0.5+/- degrees over most of the lake. Localized temperature variability highs of 1.0+ degrees are probably associated with periodic upwelling of warmer subsurface water: a) at GP58 (see Map 6-1 for grid point locations), due to upwelling under the prevailing westerly winds; b) from GP17 east to GP11, due to a strong counterclockwise (westward along the north shore) current; c) at GP69 due to strong currents impinging on shore; and d) in the GP94 - GP115 area, due to an eddy, or divergent flow type upwelling. The above inferences on the association of increased temperature variability with current structures are based on descriptions of Lake Superior circulation characteristics in references [28], [29], and [30].

The 1.0+ variability high in Whitefish Bay, in the vicinity of GP143, probably results from strong turbulence and complex circulation patterns generated by the periodic westerly wind impulses which exert a particularly strong force on the bay after the long over-water fetch.

6.2 Structure des températures des eaux de surface du lac Supérieur

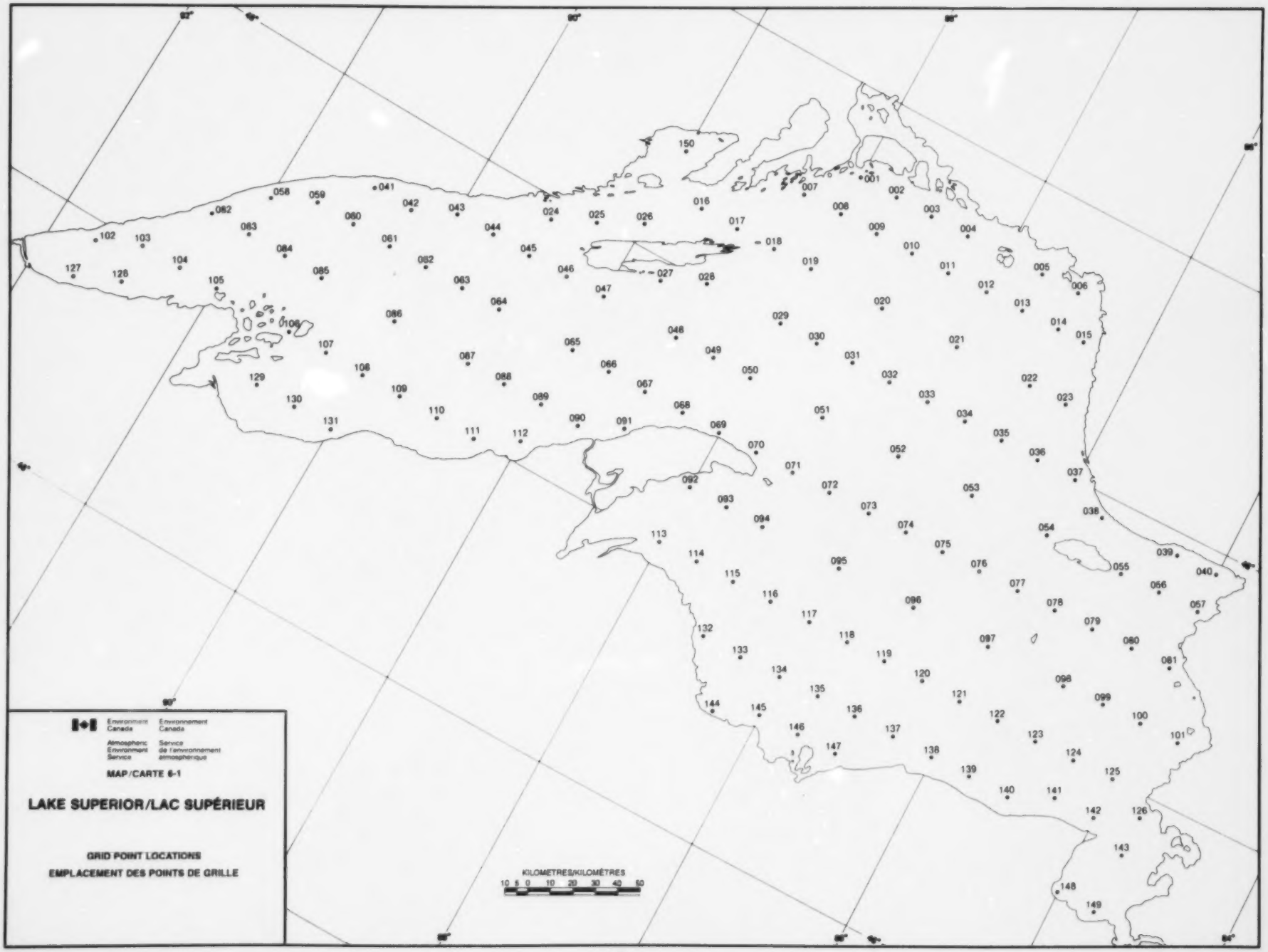
Le lecteur est prié de se reporter aux cartes 6-1 à 6-26 pour la discussion qui va suivre sur les températures de l'eau de surface du lac Supérieur et la variabilité de ces températures. Les points de grille sont localisés sur la carte 6-1, et la profondeur du lac est illustrée à la carte 6-2. Les cartes 6-3 à 6-26 présentent la structure des températures de l'eau de surface et de la variabilité de ces températures au début et au milieu de chacun des mois. De brèves remarques sur les principales caractéristiques des structures des champs de température de surface et de variabilité sont présentées ci-dessous pour chacune des cartes.

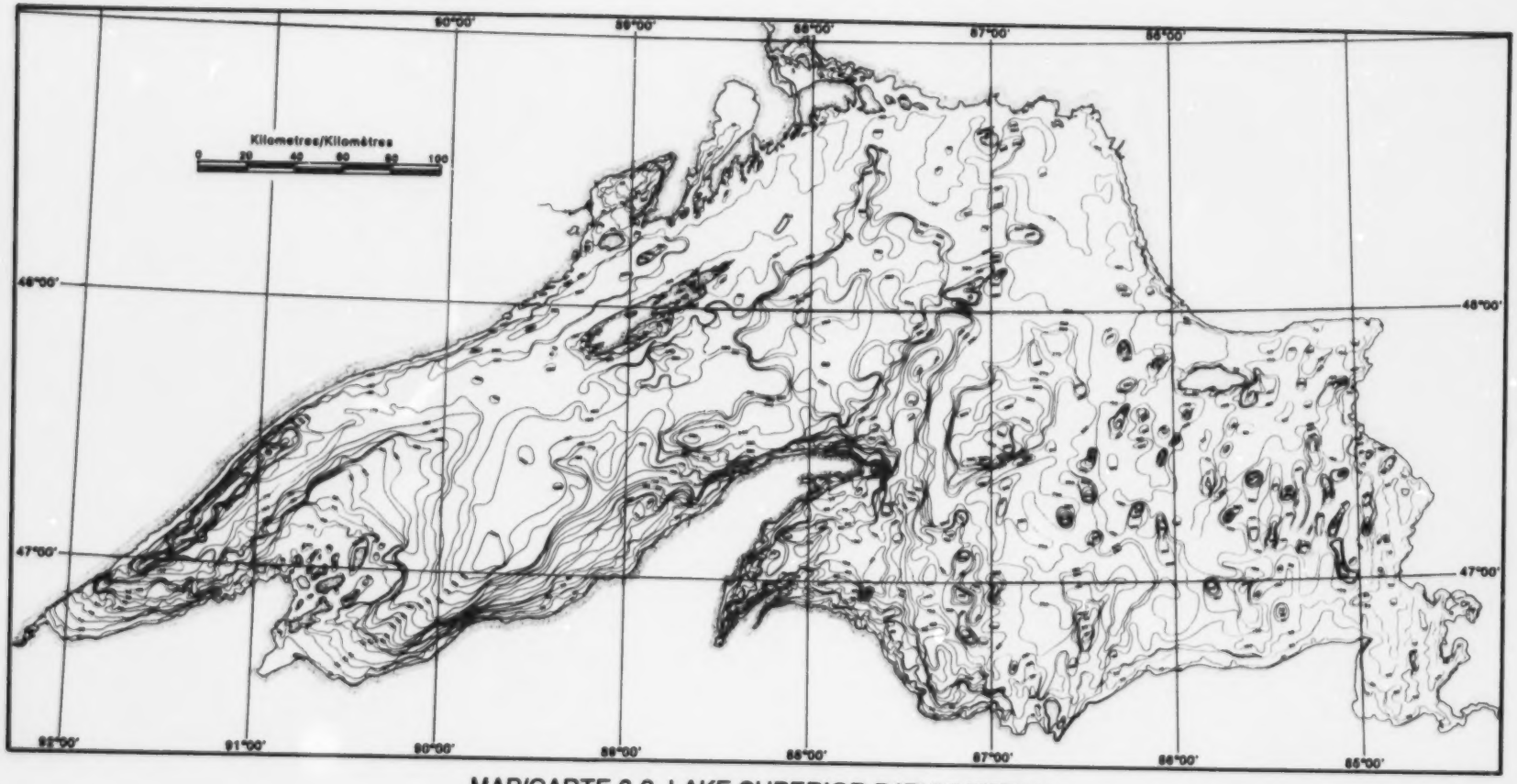
Carte 6-3 1er janvier

Dans le lac Supérieur, la stratification hivernale est normalement déjà établie au début de janvier. Globalement, les températures de surface varient peu supérieure à 3 degrés dans les régions du centre du lac à moins de 1 degré dans les zones littorales peu profondes et les baies abritées.

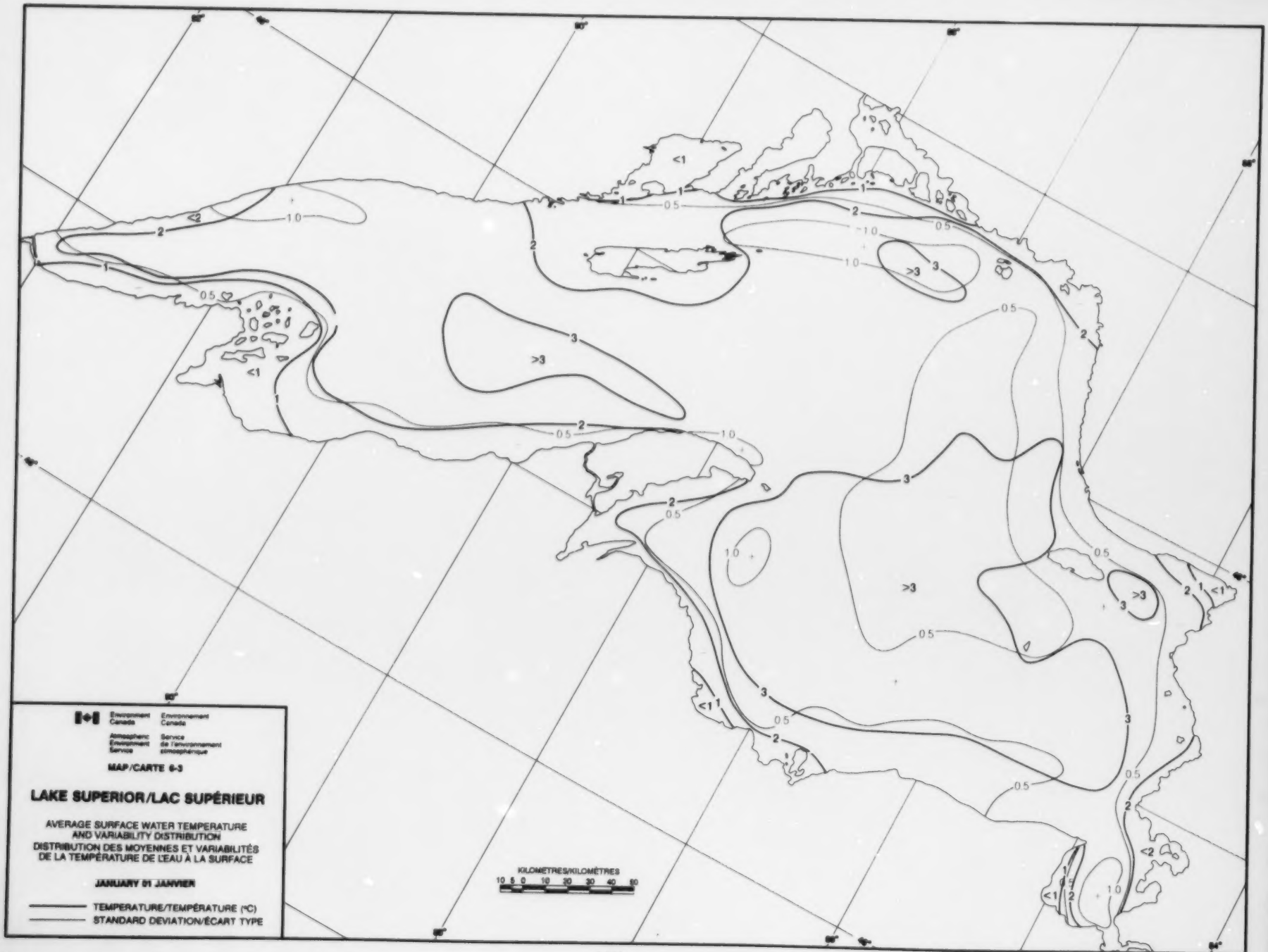
La variabilité n'est que de 0,5+/- degré pour la majeure partie du lac. Des maximums localisés de variabilité de 1,0+ degré sont probablement associés à des remontées d'eau chaude périodiques : a) à PG58 (voir la carte 6-1 pour les emplacements des points de grille), dû aux remontées d'eau sous l'effet des vents d'ouest dominants; b) de PG17 vers l'est jusqu'à PG11, à cause d'un puissant courant qui circule en sens anti-horaire (vers l'ouest le long de la rive nord); c) à PG69 à cause de puissants courants qui viennent buter contre le rivage; et d) dans la région de PG94 - PG115, à cause d'un tourbillon ou d'une remontée d'eau de type divergent. L'hypothèse sur les rapports existant entre l'augmentation de la variabilité et la structure des courants est fondée sur une description des caractéristiques de la circulation du lac Supérieur puisée dans les références [28], [29] et [30].

Le maximum de variabilité (1,0+) qui s'observe dans la baie Whitefish, près de PG143, résulte probablement de configurations marquées de turbulence et d'une circulation complexe produite par les épisodes périodiques de vents d'ouest qui arrivent avec beaucoup de force sur la baie après la longue course du vent.


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-1
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
GRID POINT LOCATIONS
EMPLACEMENT DES POINTS DE GRILLE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50



MAP/CARTE 6-2 LAKE SUPERIOR BATHYMETRY/
LAC SUPÉRIOR BATHYMÉTRIE


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-3
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JANUARY 01 JANVIER
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50

Map 6-4 January 16

The warmest surface temperature (>2 degrees) occurs in the central regions of the western and eastern basins. Ice is normally found in the near-shore regions and in sheltered bays. However, the northwest shore and a stretch of the northeast shore (GP15 to GP38) is generally kept free of ice by upwelling.

Temperature variability is very small (0.5+ degrees) over most of the lake, and less than 0.5 degrees in the near-shore zone. A large 1.0+ variability high overlies the upwelling region along the northwest shore. The 1.0+ variability highs, centred on GP94 and GP108, may be associated with eddy-type circulation.

Map 6-5 February 1

Extensive, partially consolidated ice cover is normally found in the northern third of the lake and along the south shore. Quasi-permanent consolidated ice cover is indicated in areas inshore from the 0.0-degree standard deviation isopleth.

The northern near-shore region in the western arm of the lake is usually ice-free; the prevailing westerly winds transport ice away from shore and promote upwelling of warmer subsurface water in this area. However, the 1.0+/- variability and 0 to 1 degree temperature range indicate that most of the western basin can be ice-covered during outbreaks of cold weather. In a similar way, the possibility of extensive ice cover is suggested by the configuration of the temperature and variability patterns in the eastern basin. The only area likely to remain ice-free in cold weather lies inside the closed 1-degree isotherm, centred on GP96.

Map 6-6 February 15

At the time of the winter temperature minimum, only a small lens of water warmer than 1 degree remains in the deepest region of the eastern basin. But it is not uncommon for this area also to be near freezing or ice-covered, as implied by the coincidence of the 1.0+ variability high with the warmer water.

Compared to the beginning of the month (Map 6-5) the greatest change in the temperature field has occurred in the western arm of the lake.

Carte 6-4 16 janvier

Les températures les plus chaudes (>2 degrés) s'observent dans la région du centre des bassins de l'ouest et de l'est. De la glace s'observe normalement dans les régions littorales et dans les baies abritées. Cependant, la rive nord-ouest et une section de la rive nord-est (PG15 à PG38) sont généralement libres de glace à cause des remontées d'eau qui s'y produisent.

La variabilité des températures est plus faible (0,5+ degré) sur la majeure partie du lac et inférieure à 0,5 degré dans la zone littorale. Un maximum considérable de variabilité de 1,0+ surmonte la région de remontée d'eau qui se produit le long de la rive nord-ouest. Les maximums de variabilité de 1,0+, centrés sur PG94 et PG108, sont peut-être associés à une circulation de type tourbillon.

Carte 6-5 1er février

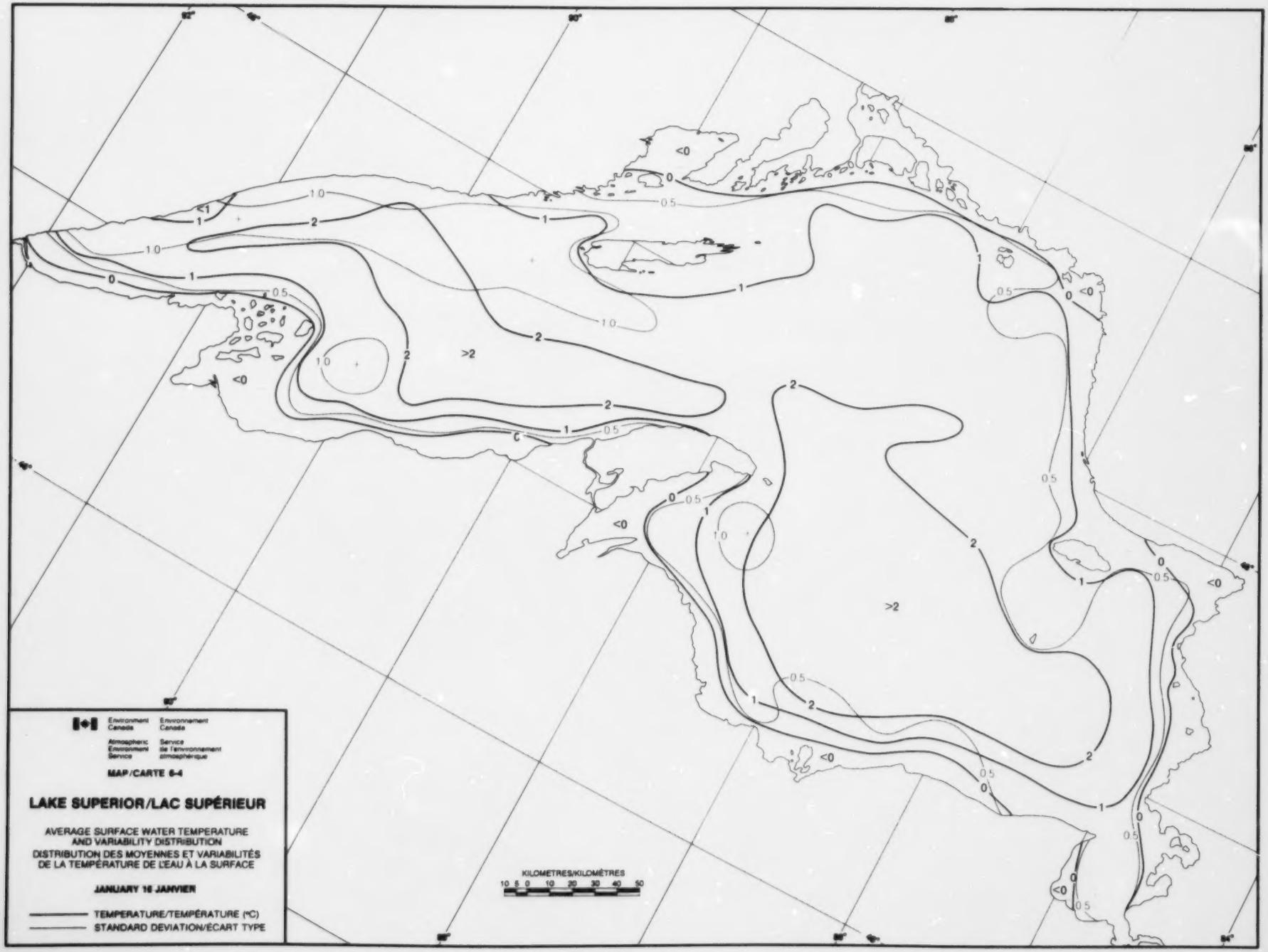
Une banquise partiellement consolidée s'observe généralement dans le tiers nord du lac et le long de la rive sud. Une banquise consolidée quasi-permanente est indiquée dans les zones qui se trouvent du côté de la rive de l'isoplète de 0,0 degré d'écart type.

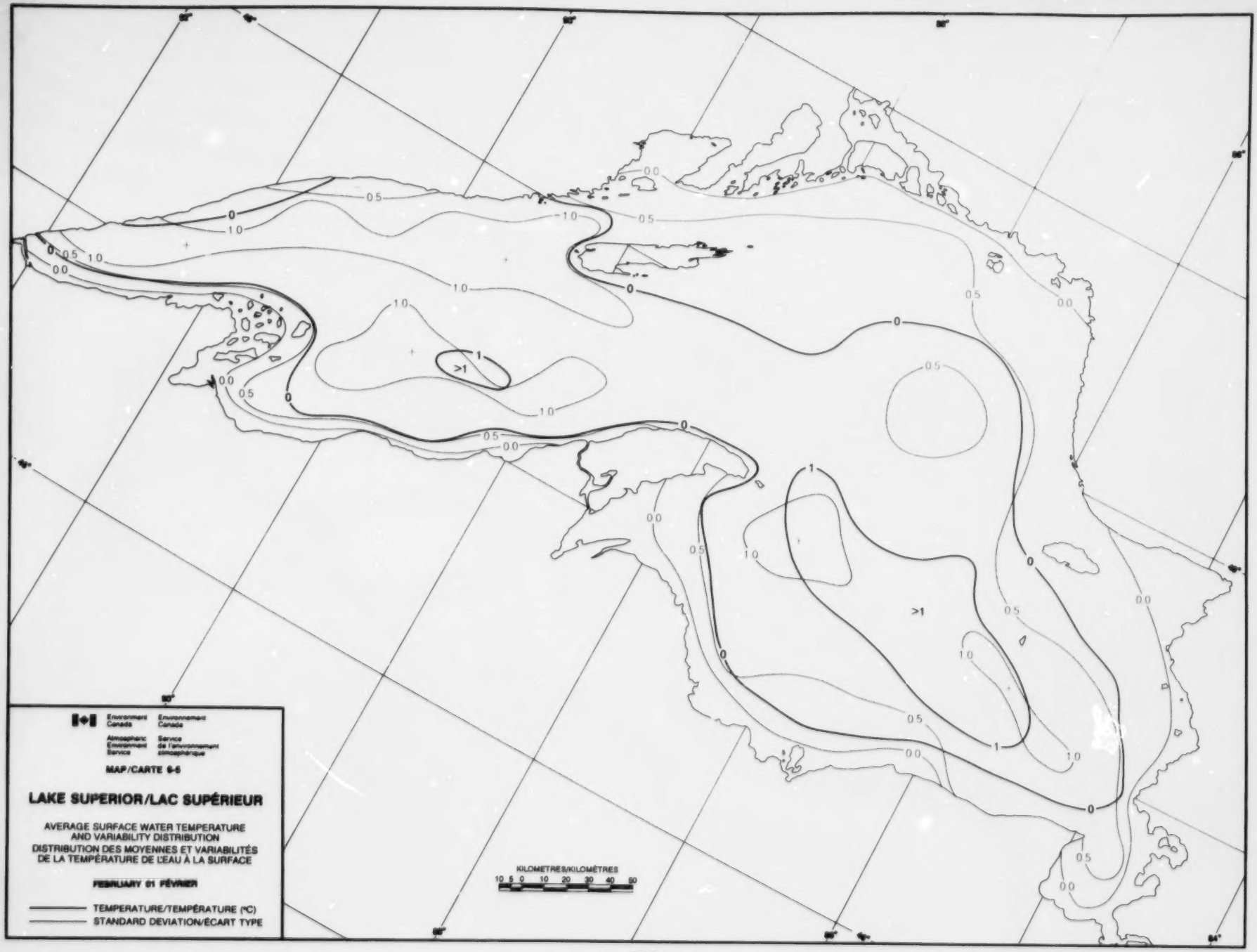
La région littorale du nord dans le bras ouest du lac est généralement libre de glace; sous l'effet des vents d'ouest dominants, la glace s'éloigne des rives et l'eau subsuperficielle, plus chaude, remonte à la surface dans cette région. Cependant, la variabilité de 1,0+/- et la gamme des températures de 0 à 1 degré montre que la majeure partie du bassin ouest peut être couverte de glace durant des invasions d'air froid. De la même façon, la possibilité d'un couvert de glace étendu est suggérée par la configuration des températures et de la variabilité dans le bassin est. La seule région qui peut rester libre de glace par temps froid est celle qui est située à l'intérieur de l'isotherme fermé de 1 degré, centré sur PG96.

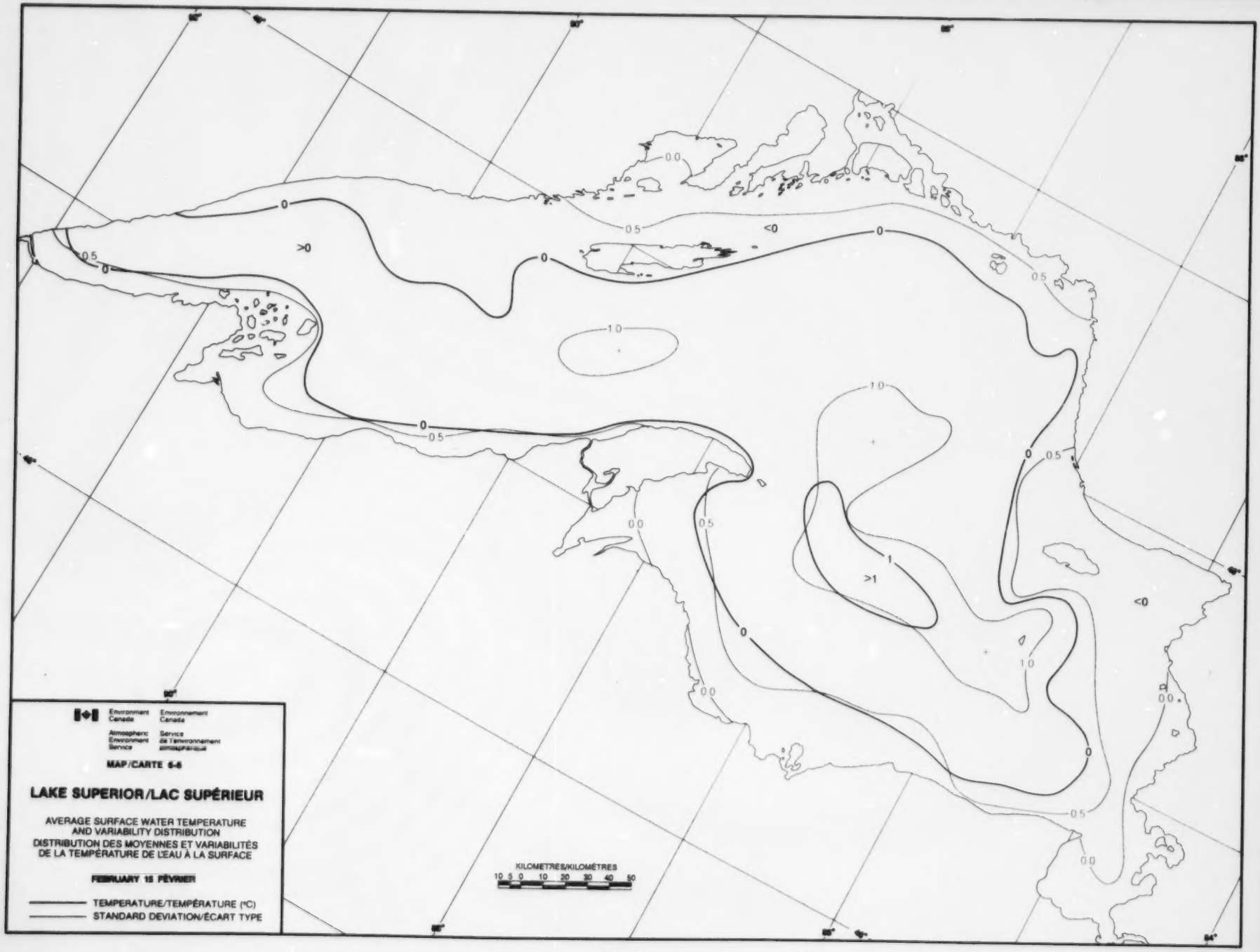
Carte 6-6 15 février

Au moment de la température hivernale minimale, il ne reste dans la région la plus profonde du bassin est qu'une seule petite poche d'eau dont la température dépasse 1 degré. Cependant, comme l'indique l'intersection du maximum de variabilité de 1.0+ avec la zone d'eau plus chaude, il n'est pas inhabituel que cette région soit près de degré ou soit couverte de glace.

Par rapport au début du mois (carte 6-5), le changement le plus important du champ thermique s'est produit dans le bras ouest du lac. La glace recouvre


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-4
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JANUARY 16 JANVIER
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
<0
0
0.5
1
1.0
2
>2


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-5
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
FEBRUARY 01 FÉVRIER
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-6
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
FEBRUARY 15 FÉVRIER
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
>0
<0
>1
<0
0
0.5
1.0
0.0

Ice can now be found in most of the upwelling region and temperature variability has decreased there by about a degree. Lake-wide, however, the area inshore from the 0.0 standard deviation isopleth has decreased since the beginning of the month, indicating a reduction in consolidated ice cover along the shore. Furthermore, the northward retreat of the 0-degree isotherm since February 1 also indicates a general reduction in the normal extent of ice in the northern third of the lake. On the other hand, the 0.5 to 1.0 degree variability range in the barely above freezing open water portions implies that significant amounts of ice can occur lake-wide at this time in the winter season.

The above observations lead to some general conclusions: a) the surface layer of the lake has cooled to a considerable depth, because upwelling is no longer detectable in the surface temperature or variability patterns, b) increasing solar radiation inputs are reducing the extent of ice cover, c) the lake can have a wide-spread ice cover, or be nearly ice-free, depending on the prevailing weather conditions.

Map 6-7 March 1

Ice cover is decreasing under intensifying solar radiation. Normally, the migratory pack ice is driven by the prevailing westerly winds into the southern and eastern near-shore zone. Ice is also found in the partially sheltered waters from Thunder Bay (GP150) south to Isle Royale.

The warmest water (1+ degrees) resides in the eastern basin. Temperature in most of the lake is between 0 and 1 degrees and variability is between 0.5 and 1.0 degrees. The configuration of the temperature and variability patterns indicates that most of the lake can be ice-covered in cold winters, or nearly ice-free in mild winters.

Map 6-8 March 16

Further reduction in ice cover has occurred since the beginning of the month (compare to Map 6-7), but surface temperature increase is nearly imperceptible in the thick cold surface layer. In fact, further cooling since the beginning of the month is indicated in the eastern basin by the contraction of the 1-degree isotherm. The cooling can be attributed to movement of broken ice

maintenant la plus grande partie de la zone de remontée des eaux et la variabilité des températures y a diminué d'environ un degré. Cependant, depuis le début du mois, la région située entre les rives et l'isoplèthe d'écart-type 0,0 a diminué dans l'ensemble du lac, ce qui indique une réduction de la couverture de glace fixée aux rives. De plus, le recul vers le nord depuis le 1er février de l'isotherme de 0 degré indique lui aussi une réduction générale de la couverture de glace normale dans le tiers nord du lac. Par contre, la variabilité de 0,5 à 1,0 degré relevée dans les zones d'eau libre dont la température est tout juste supérieure à 0 degré signifie qu'une quantité considérable de glace peut se former dans l'ensemble du lac à cette période de l'hiver.

Des observations susmentionnées, on peut tirer les conclusions générales suivantes : a) la couche de surface du lac s'est refroidie jusqu'à une profondeur considérable, car il n'est plus possible de déceler de remontée d'eau d'après la configuration des températures de surface ou la variabilité; b)l'augmentation du rayonnement solaire réduit la couverture de glace; c) selon les conditions météorologiques dominantes, le lac peut être largement recouvert par la glace ou être pratiquement libre de glace.

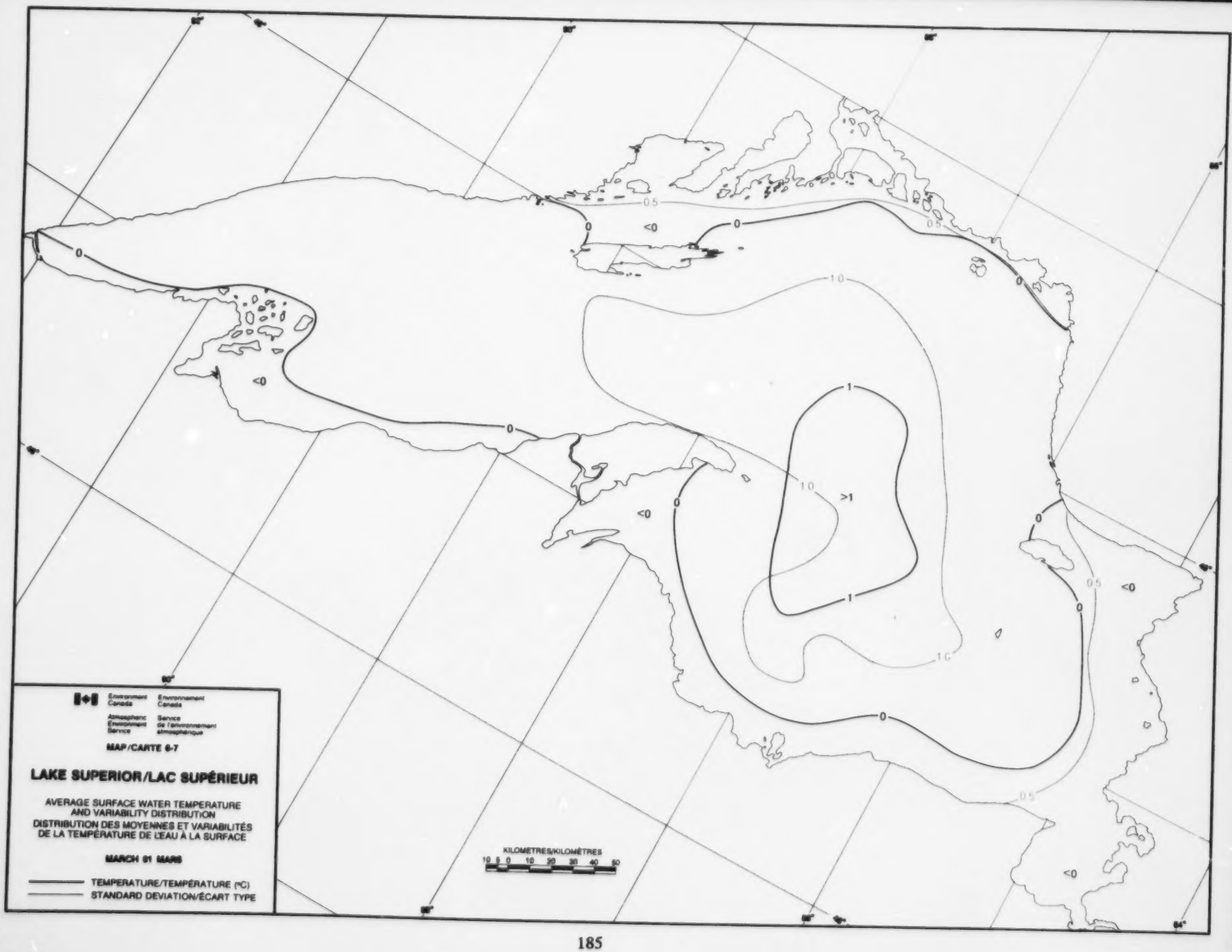
Carte 6-7 1er mars

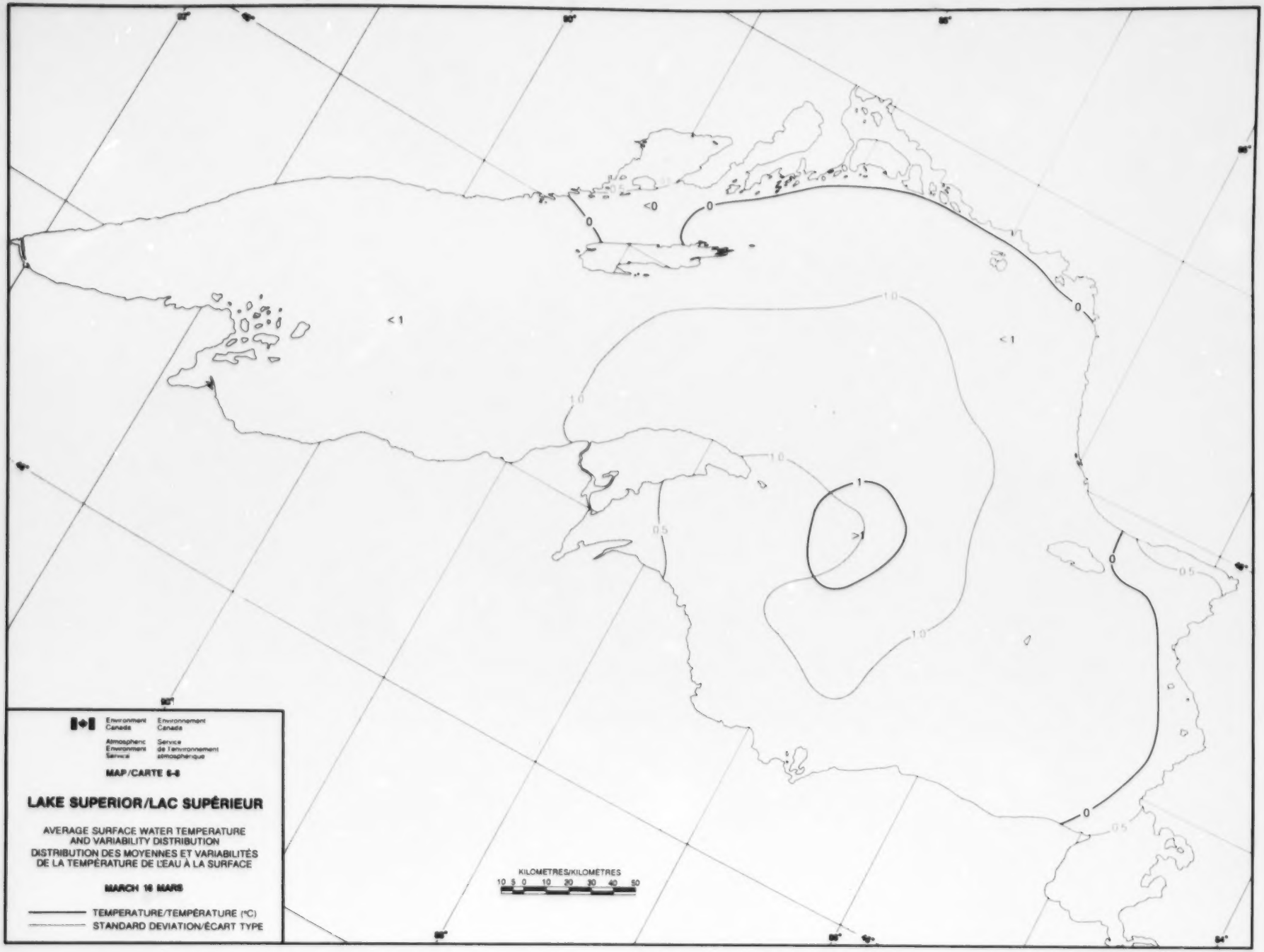
L'intensification du rayonnement solaire fait diminuer la couverture de glace. Normalement, les vents dominants de l'ouest poussent la banquise vers les zones littorales du sud et de l'est. La glace couvre aussi les eaux partiellement abritées de la région qui se trouve au sud de la baie Thunder (PG150) jusqu'à l'Isle Royale.

L'eau la plus chaude (1+ degrés) se trouve dans le bassin est. Dans la plus grande partie du lac, la température se situe entre 0 et 1 degré et la variabilité, entre 0,5 et 1,0 degré. La configuration des températures et de la variabilité indique que la majeure partie du lac peut être soit couverte de glace pendant les hivers froids, soit pratiquement libre de glace pendant les hivers doux.

Carte 6-8 16 mars

La couverture de glace a encore diminué depuis le début du mois (par rapport à la carte 6-7), mais il est presque impossible de déceler une augmentation de la température de surface dans la couche de surface épaisse et froide. En fait, comme l'indique la contraction de l'isotherme de 1 degré dans le bassin est, il s'est produit un refroidissement depuis le début du mois. Le refroidissement peut être attribué au mouvement des glaçons dans la région.


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-7
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
MARCH 01 MARS
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
0
<0
>1
1
.5
1.0


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-8
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
MARCH 16 MARS
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMETRES
10 5 0 10 20 30 40 50
<0
0
<1
1.0
1
>1
0.5

through the area. Ice persists from Thunder Bay south to Isle Royale, and wind-driven ice is piled up in the east end of the lake.

Temperature variability is greater than 1.0 degrees in the central region and somewhat less than 1.0 degrees in the rest of the lake. The variability range, in conjunction with the over-all temperature of less than 1 degree, indicates that extensive ice cover can still occur at this time in cold winters; in a mild winter-early spring setting, the surface temperature ranges between 1 and 2 degrees.

Map 6-9 April 1

A very uniform surface temperature, at 1 degree plus or minus a few tenths, prevails lake-wide toward the end of the ice melt season. The last remnants of ice linger in the northern half of Thunder Bay and in the south end of Whitefish Bay. The latter consists of broken pan ice, driven into the east end of the lake by westerly winds.

Temperature variability - somewhat less than 1.0 degrees - is also very uniform throughout most of the lake. Larger variability (1.0+) along the south shore in the western arm of the lake is probably caused by periodic impounding of warmed surface water or ice, as the case may be, along this shore by the prevailing westerly winds.

The temperature and variability ranges indicate that it is not unusual for the temperature to be still near the freezing point. Temporary nighttime re-freezing is quite possible, particularly under light wind conditions.

Map 6-10 April 16

Incoming solar energy is readily absorbed into the cold water mass by convective mixing. Consequently, the surface temperature remains nearly isothermal throughout the lake and rises very slowly (only about 0.5 degrees since April 1). Temperature variability also remains very uniform, at less than 1.0 degrees.

Incipient warming in the shallower near-shore regions is indicated by the appearance of the 2-degree isotherm in some places along the south shore. The warming is accompanied by increased temperature variability, indicating that

La glace couvre toujours la zone qui s'étend au sud de la baie Thunder jusqu'à l'Isle Royale. En outre, la glace poussée par le vent s'empile à l'extrémité est du lac.

La variabilité des températures est supérieure à 1,0 degré au centre du lac et légèrement inférieure à 1,0 degré ailleurs. La variabilité, en conjonction avec la température globale inférieure à 1 degré, indique que durant les hivers froids la glace peut encore recouvrir une grande partie du lac à cette période de l'année; durant les hivers doux ou lorsque le printemps est hâtif, les températures de surface varient entre 1 et 2 degré.

Carte 6-9 1er avril

La température de surface est très uniforme (1 degré plus ou moins quelques dixièmes) dans tout le lac vers la fin de la saison de fonte des glaces. Il ne reste plus que quelques blocs de glace dans la moitié nord de la baie Thunder et dans la partie sud de la baie Whitefish. Dans la baie Whitefish, il s'agit de glace en forme de crêpes, brisée, poussée vers l'extrémité est du lac par les vents d'ouest.

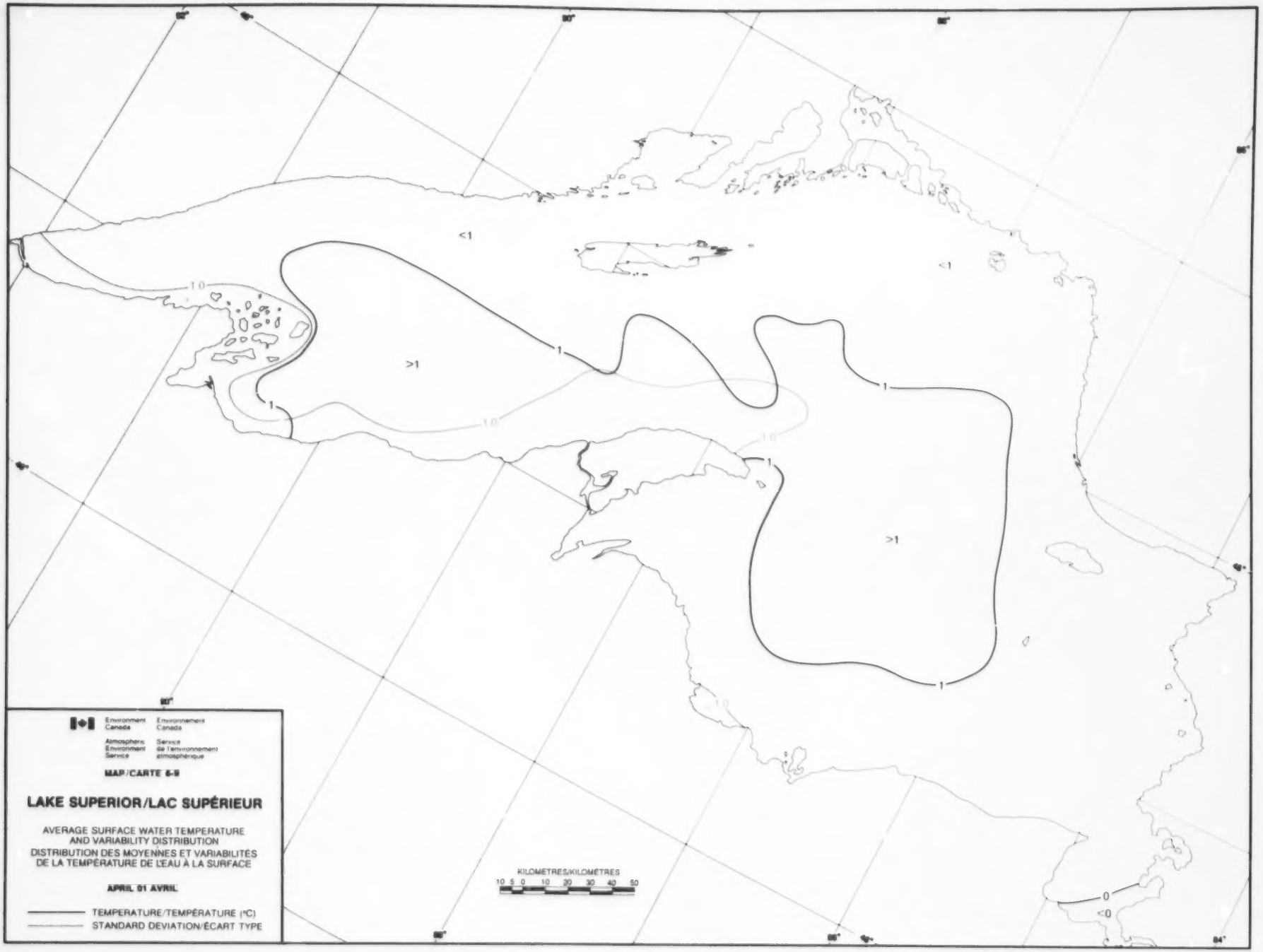
La variabilité des températures (légèrement inférieures à 1,0 degré) est aussi très uniforme dans toute la majeure partie du lac. Une variabilité plus importante (1,0+) le long de la rive sud dans le bras ouest du lac est probablement causée par une concentration périodique d'eau de surface réchauffée, ou de glace, selon le cas, sous l'effet des vents d'ouest dominants.

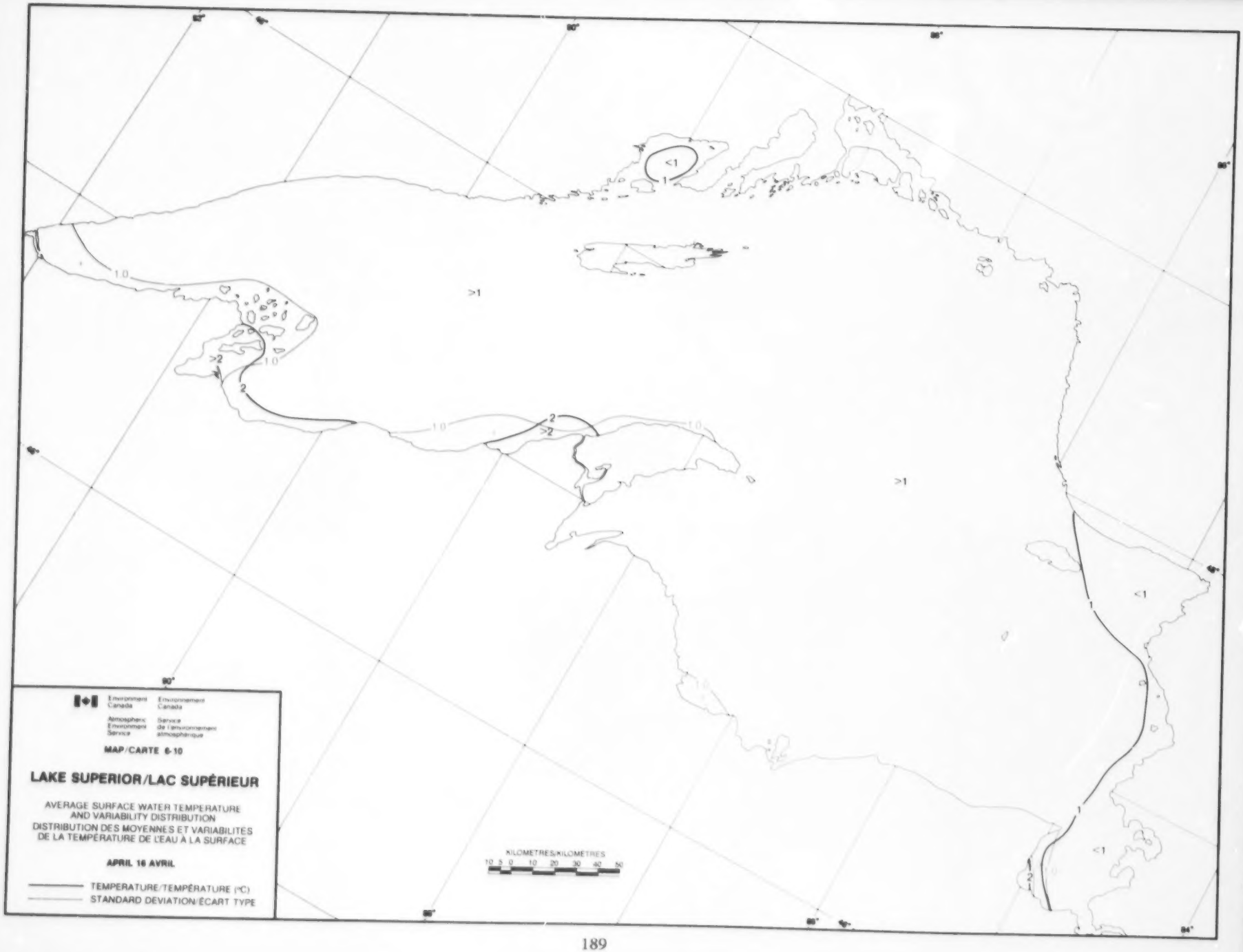
Selon les gammes de températures et de variabilité enregistrées, il n'est pas inhabituel que la température demeure proche du point de congélation. Un regel nocturne temporaire peut se produire, particulièrement en présence de vents légers.

Carte 6-10 16 avril

L'énergie solaire descendante est rapidement absorbée par la masse d'eau froide par brassage convectif. Les températures de surface demeurent donc quasi-isothermes partout et s'élèvent très lentement (seulement 0,5 degré environ depuis le 1er avril). La variabilité reste aussi très uniforme (moins de 1,0 degré).

Le début du réchauffement dans les régions littorales peu profondes est marqué par l'apparition, à certains endroits le long de la rive sud, de l'isotherme de 2 degrés. Ce réchauffement s'accompagne d'une variabilité accrue des


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-9
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
APRIL 01 AVRIL
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
<1
>1
1
0
<0


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-10
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
APRIL 16 AVRIL
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMETRES
10 5 0 10 20 30 40 50
>1
<1
1
2
>2
1.0

nighttime cooling and perhaps re-freezing is also possible in the shallow waters.

Map 6-11 May 1

A flat surface temperature gradient and small temperature variability are maintained in the near- isothermal, mixing water mass. Shallow water warming shows up along the south shore, particularly in the Apostle Islands (GP106) area and in Whitefish Bay (GP148). The warmer temperature (>3 degrees) in the vicinity of GP90 to GP91 is probably due to the inflow of warmer water from the Keweenaw waterway.

Greater temperature variability (1.0 to 2.5+) is associated with the warmer waters along the south shore. Here the surface water temperature can have a substantial diurnal range; it can rise rapidly in the daytime and fall at night, approaching the freezing point under sub-zero air temperatures.

Map 6-12 May 16

The deep vertical mixing during the spring overturn period [29] maintains near-isothermal conditions in the large, slowly-warming water mass. Therefore, surface temperature increases at a slow rate and temperature variability is kept to a minimum (0.5+/- degrees).

First signs of density stratification in the surface layer (temperature greater than 4 degrees) appear in the north end of Thunder Bay (GP150) and in the shallower areas along the south shore. Greatly increased temperature variability is immediately apparent in these areas, pointing to the tenuous existence of the newly-formed stratification. Daytime heating produces a large temperature rise in the surface of the stratified layer, but nighttime cooling and wind-induced turbulent mixing destroys the thin stratification, incurring a large drop in surface temperature.

Map 6-13 June 1

The spring overturn process, characterized by convective mixing, continues in the deep regions of the lake. Surface temperature is kept below the temperature

températures, ce qui montre que le refroidissement nocturne, et peut-être le regel, sont aussi possibles dans les eaux plus profondes.

Carte 6-11 1er mai

Un gradient linéaire des températures et une faible variabilité sont maintenus dans la masse d'eau mélangée, quasi-isotherme. Le réchauffement des eaux peu profondes se fait sentir le long de la rive sud, notamment dans la région des îles Apostle (PG106) et dans la baie Whitefish (PG148). La température plus élevée (>3 degrés) au voisinage de PG90 à PG91 est probablement liée à l'écoulement d'eau plus chaude provenant de la voie navigable Keweenaw.

Une variabilité supérieure (1,0 à 2,5+) est associée aux eaux plus chaudes qui longent la côte sud. A cet endroit, la température des eaux de surface peut varier beaucoup durant le jour; elle peut s'élever rapidement le jour et redescendre la nuit, et même s'approcher du point de congélation lorsque les températures de l'air sont inférieures à zéro.

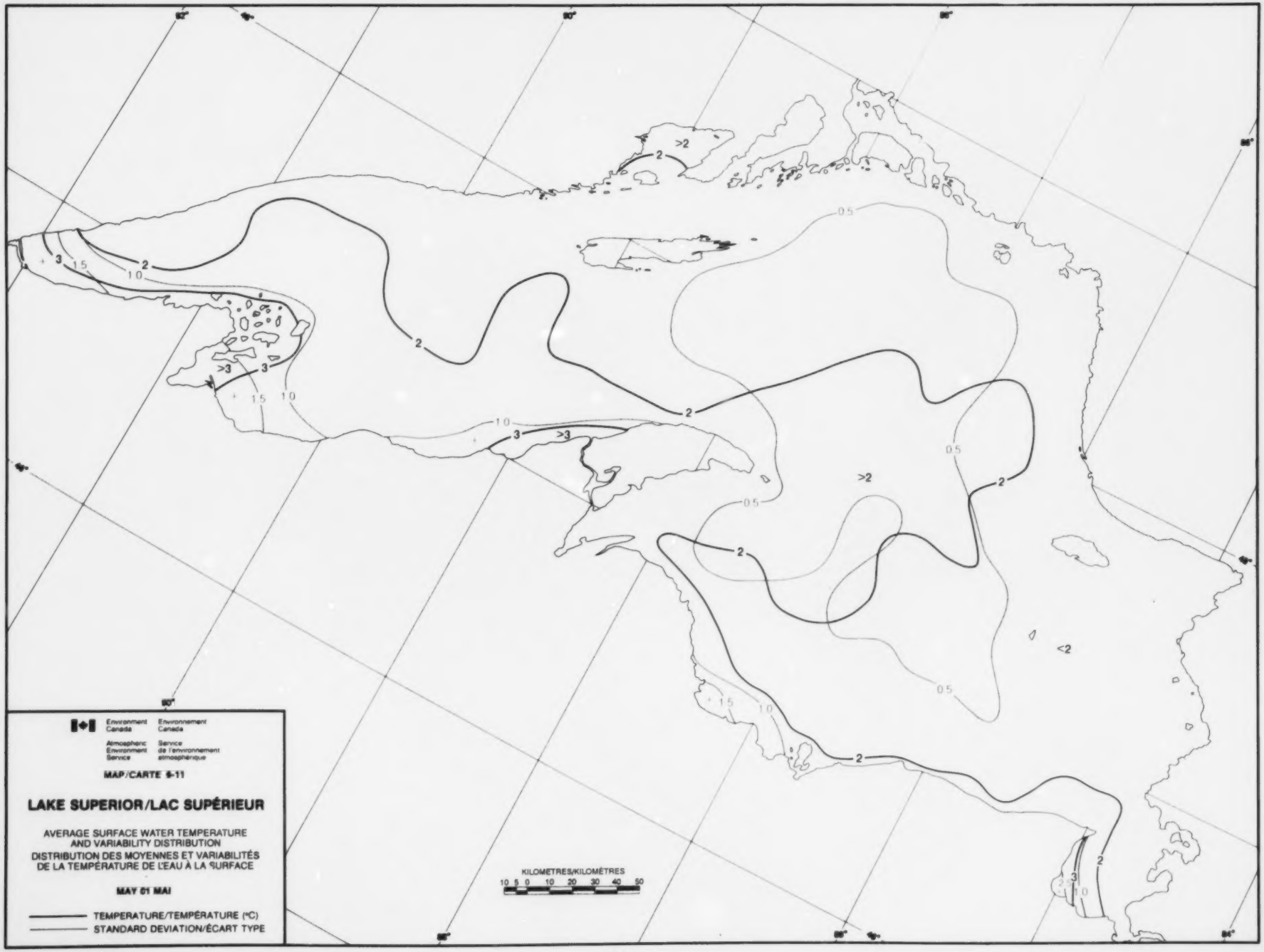
Carte 6-12 16 mai

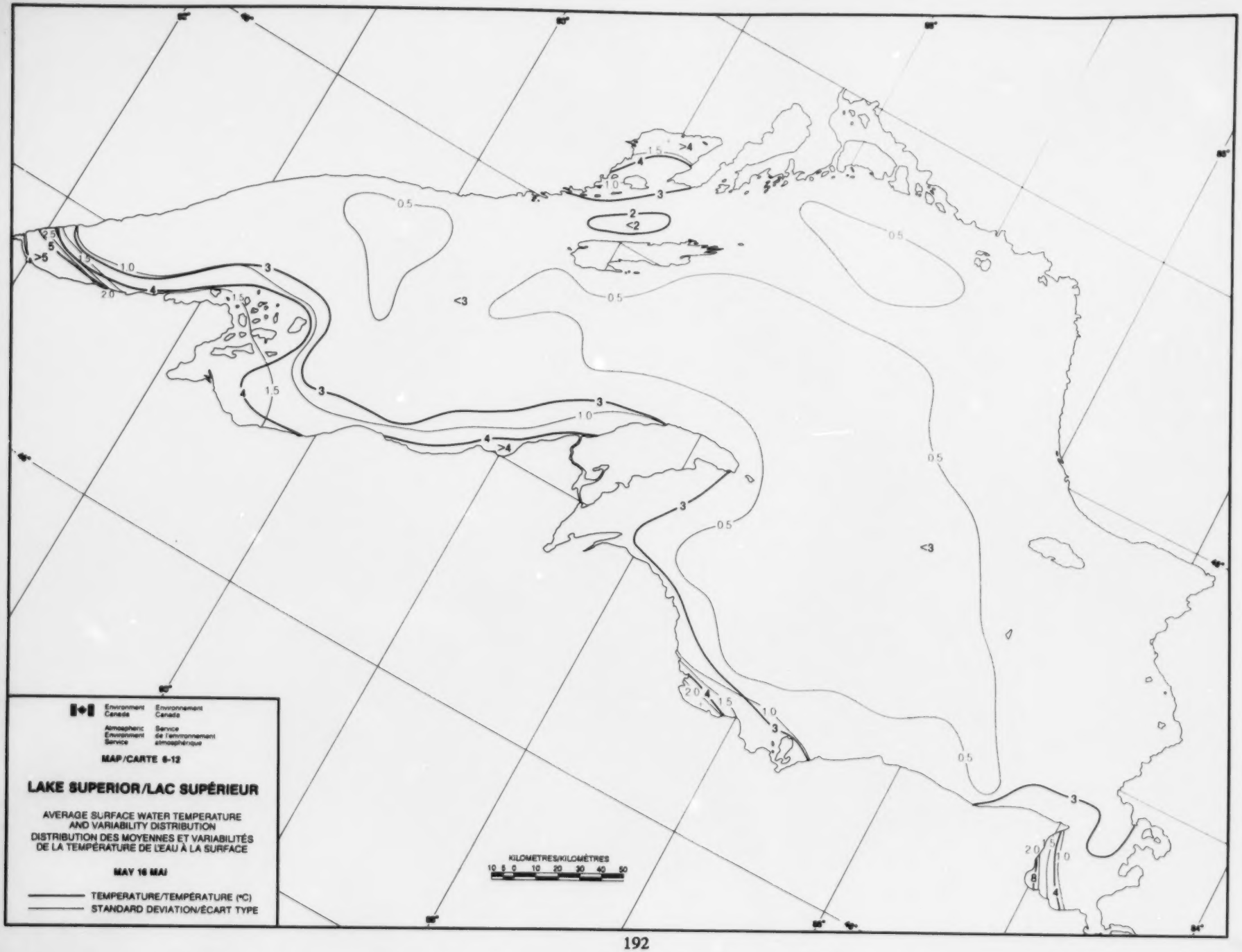
Le brassage vertical qui s'effectue en profondeur au cours de la période du renversement printanier [29] maintient les conditions quasi-isothermes dans l'importante masse d'eau qui se réchauffe lentement. La température de surface s'accroît donc lentement et la variabilité reste minimale (0,5+/-degré).

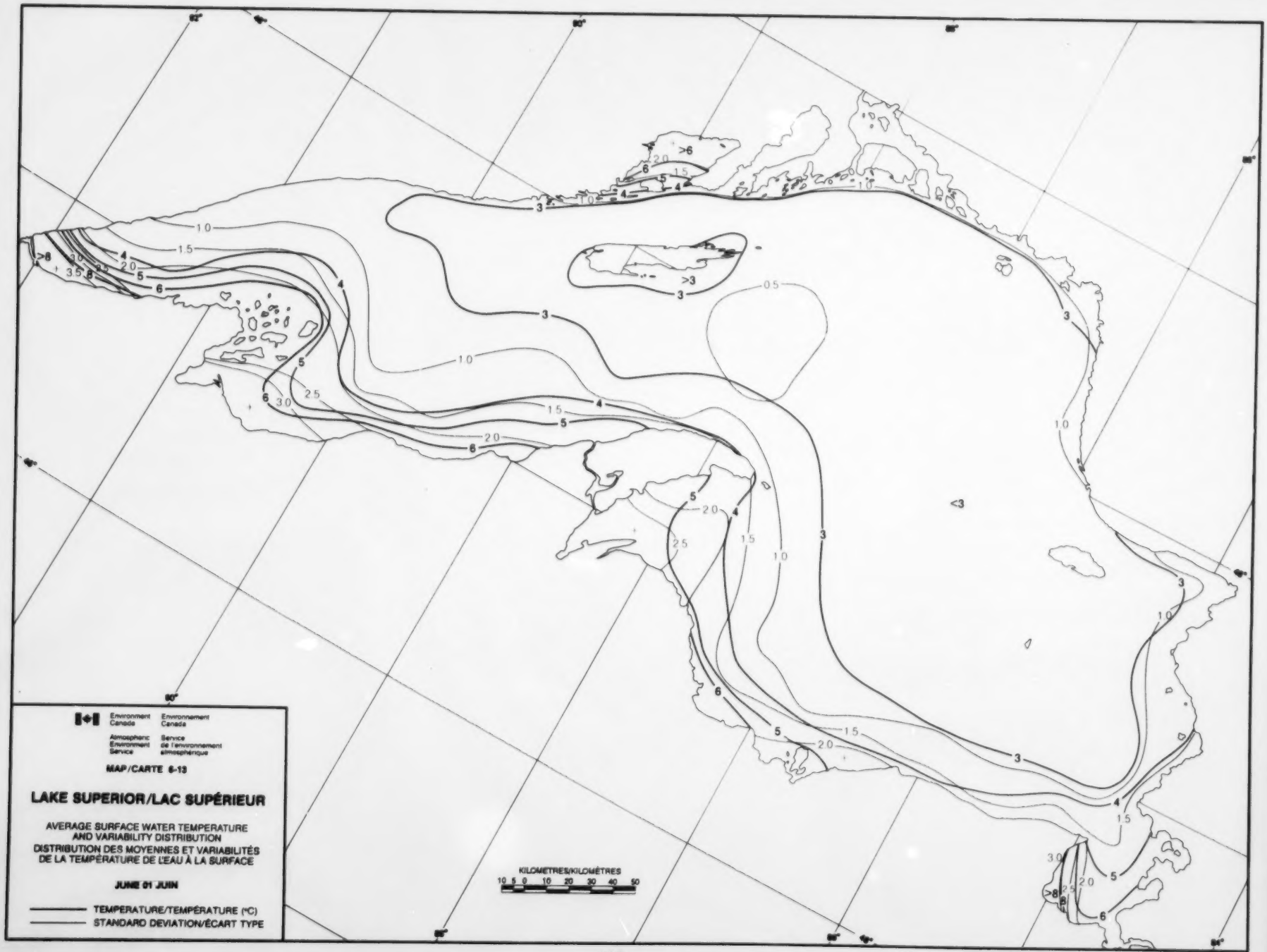
Les premiers signes d'une stratification de densité (température supérieure à 4 degrés) apparaissent dans la couche superficielle de l'extrémité est de la baie Thunder (PG150) et dans les régions moins profondes le long de la rive sud. Il devient immédiatement évident que la variabilité s'accroît beaucoup dans ces régions, ce qui montre l'existence d'une nouvelle stratification, encore mince. Le réchauffement diurne produit une hausse importante des températures à la surface de la couche stratifiée, mais le refroidissement nocturne et le brassage turbulent engendré par le vent détruisent la mince stratification en entraînant une baisse considérable des températures de surface.

Carte 6-13 1er juin

Le processus de renversement printanier, caractérisé par un brassage convectif, se poursuit dans les parties profondes du lac. La température de


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-11
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
MAY 01 MAI
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
>2
2
<2
>3
3
1.5
1.0
0.5


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-12
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
MAY 16 MAI
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-13
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JUNE 01 JUIN
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50

of maximum density (4 degrees) and temperature variability is confined to a narrow range of 0.5+/- degrees.

In the north shore region, summer stratification is established only in bays behind the coastal island chain. Formation of a warm, stratified surface layer along the north shore of the lake proper is prevented by wind-induced transport of surface water away from the north shore and upward circulation of cold sub-surface water in the upwelling zone along the north shore [30].

Southeastward transport and impounding of warmed surface water on the shore promotes early formation of summer stratification in the south shore region. Steep surface temperature gradients form in the stratified waters. Commensurate gradients in the variability field demonstrate the large dependence of the surface temperature in the as yet thin stratified layer on prevailing weather conditions. Stratification formed under relatively calm and sunny conditions can be destroyed by onset of strong winds.

Cloudiness is a critical factor to heat input during this period of maximum available insolation; the rate of the spring time warm-up of the water mass can vary from year to year, depending on the cloudiness of the season. The configuration of the temperature and variability patterns indicates that summer stratification can be weak or nonexistent at this time, if the spring season is cloudy and cool.

Map 6-14 June 16

Normally, spring overturn is nearing completion in the western basin. The unstratified (less than 4-degree) condition prevails in much of the eastern half of the lake. There is a prominent westward extension of <4-degree water through the channel between Thunder Bay and Isle Royale (U.S). The absence of stratification in this region (from GP62 northeast to GP17) can be attributed to turbulent mixing of the water mass, caused by the funnelling of a strong counterclockwise (westward) current through the channel.

The temperature and variability gradients in the southern near-shore zone are continuations of structures established at the beginning of the month (see discussion of Map 6-13).

The most significant change is seen in the surface temperature variability of the unstratified waters. The variability now ranges from 1.0 to 1.5 degrees,

surface demeure inférieure à la température de densité maximale (4 degrés) et la variabilité des températures est confinée à 0,5+/- degré.

Dans la région de la rive nord, la stratification estivale est établie seulement dans les baies situées derrière la chaîne d'îles côtière. Les eaux de surface qui s'éloignent de la rive nord sous l'effet du transport par le vent et de la circulation vers le haut d'eau froide de subsurface dans la zone de remontée d'eau qui borde la rive nord, empêchent que se forme une couche superficielle chaude et stratifiée le long de la rive nord de la partie principale du lac [30].

Le transport vers le sud-est et la concentration d'eau de surface réchauffée sur la rive encourage la formation précoce d'une stratification estivale dans la région de la rive sud. Des gradients marqués de température de surface se forment dans les eaux stratifiées. Des gradients correspondants du champ de variabilité démontrent la dépendance considérable qui existe entre la température de surface dans la couche stratifiée encore mince et les conditions météorologiques. La stratification qui s'établit par temps ensoleillé et relativement calme peut être détruite par l'arrivée de vents violents.

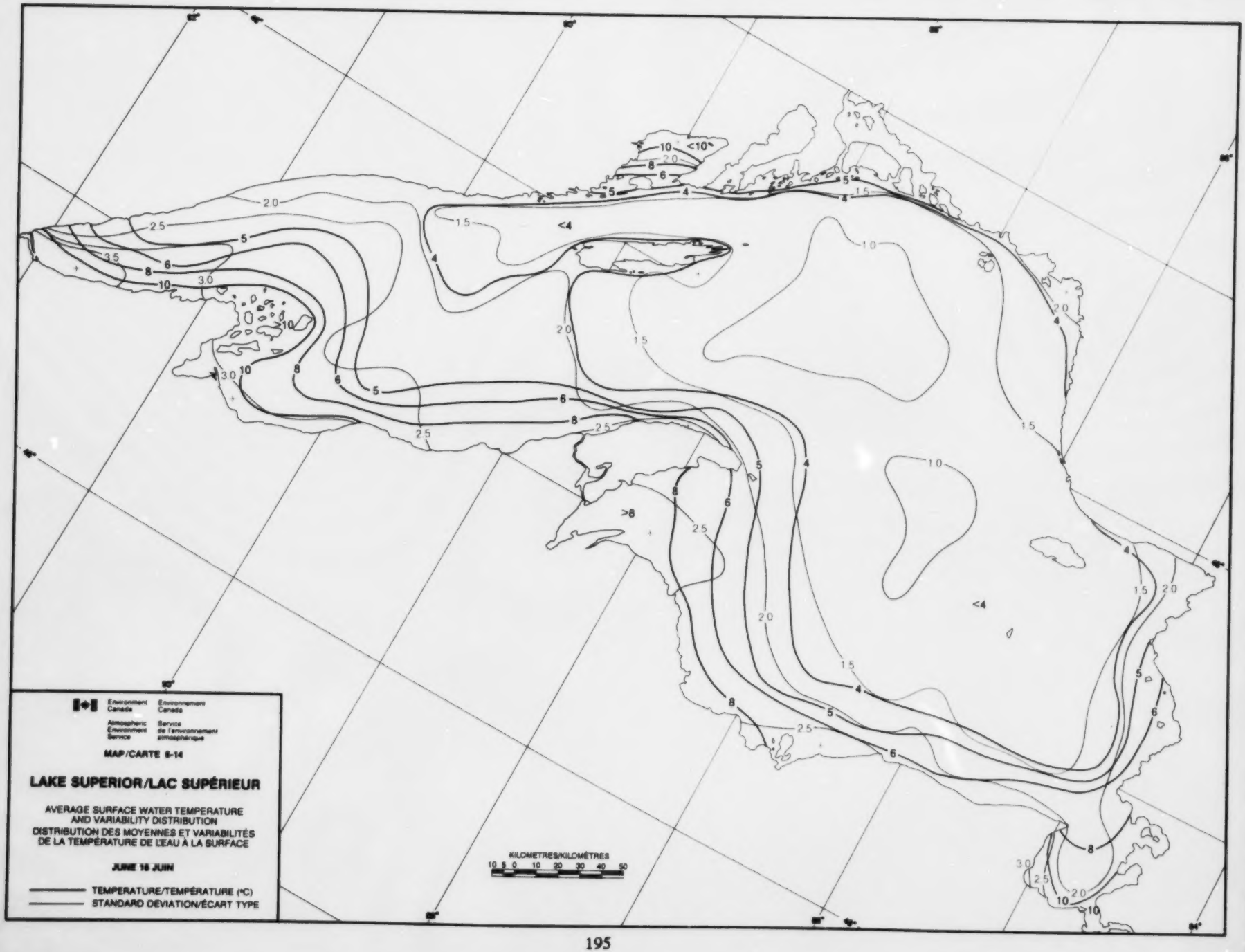
La nébulosité est un facteur critique dans l'apport de chaleur au cours de cette période d'insolation possible maximale; ainsi, le taux de réchauffement printanier de la masse d'eau peut varier d'une année à l'autre, selon la nébulosité. La configuration de la température et de la variabilité montre que la stratification estivale peut être faible ou non existante à cette période, si le temps est frais et nuageux.

Carte 6-14 16 juin

Normalement, le renversement printanier s'achève dans le bassin ouest. La majeure partie de la moitié est du lac demeure non stratifiée (température inférieure à 4 degrés). On constate une avancée marquée vers l'ouest d'eau dont la température est inférieure à 4 degrés dans le chenal qui sépare la baie Thunder et l'Isle Royale (É.-U.). L'absence de stratification dans cette région (de PG62 vers le nord-est jusqu'à PG17) peut être attribuée au brassage turbulent de la masse d'eau, causé par la canalisation d'un puissant courant en sans anti-horaire (vers l'ouest) à l'endroit du chenal.

Les gradients de température et de variabilité dans la zone littorale sud sont des suites des structures établies au début du mois (voir la discussion de la carte 6-13).

La variation la plus importante est celle qui marque la variabilité des températures de surface dans les eaux non stratifiées. La variabilité se situe


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-14
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JUNE 15 JUIN
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50

compared to 0.5+/- degrees on June 1. The increased variability in the unstratified water mass is indicative of the year-to-year differences in the rate of progress to full summer stratification, which depends on the rate of radiational heat input during the June - July period of maximum possible insolation. The radiational heat input depends on the over-all average cloudiness of the spring season. The configuration of the temperature and variability patterns shows that lake-wide stratification can be achieved by mid-June, if warm and sunny conditions prevail. If conditions are predominantly cool and cloudy, most of the water mass can still be in the unstratified state.

maintenant entre 1,0 et 1,5 degré alors qu'elle n'était que de 0,5+/- le 1er juin. La variabilité accrue dans la masse d'eau non stratifiée reflète les différences inter-annuelles de la vitesse d'achèvement de la stratification estivale, qui dépend du taux de réchauffement par rayonnement au cours de juin et juillet, période d'insolation possible maximale. L'apport de chaleur par rayonnement dépend de la nébulosité moyenne globale au cours du printemps. La configuration de la température et de la variabilité montre que la stratification à l'échelle du lac peut être achevée à la mi-juin, par temps chaud et ensoleillé. Par contre, si le temps est frais et nuageux, la majeure portion de la masse d'eau peut demeurer dans l'état non stratifié.

Map 6-15 July 1

Lake-wide summer stratification is established, although it is quite tenuous in the eastern basin, where surface temperature is less than 5 degrees. After stratification is established, convective vertical mixing ceases and heat is transported downward to deeper layers by turbulent mixing set up by wind and internal currents. Therefore, the incoming solar energy - arriving at its most intense rate at this time of the season - is largely trapped in the stratified surface layer. Very strong surface temperature gradients are rapidly created. If the stratified surface layer is newly-formed and therefore very thin, it can be as rapidly obliterated by wind-induced mixing.

The large temperature variability is also indicative of surface temperature dependence on weather conditions - primarily wind and cloudiness. A close examination of the temperature and variability patterns reveals that within the normal range of variation the surface temperature can be as low as 2.5 to 3 degrees in the deep regions. Therefore, it can be concluded that it is not unusual for formation of lake-wide summer stratification to be delayed beyond July 1.

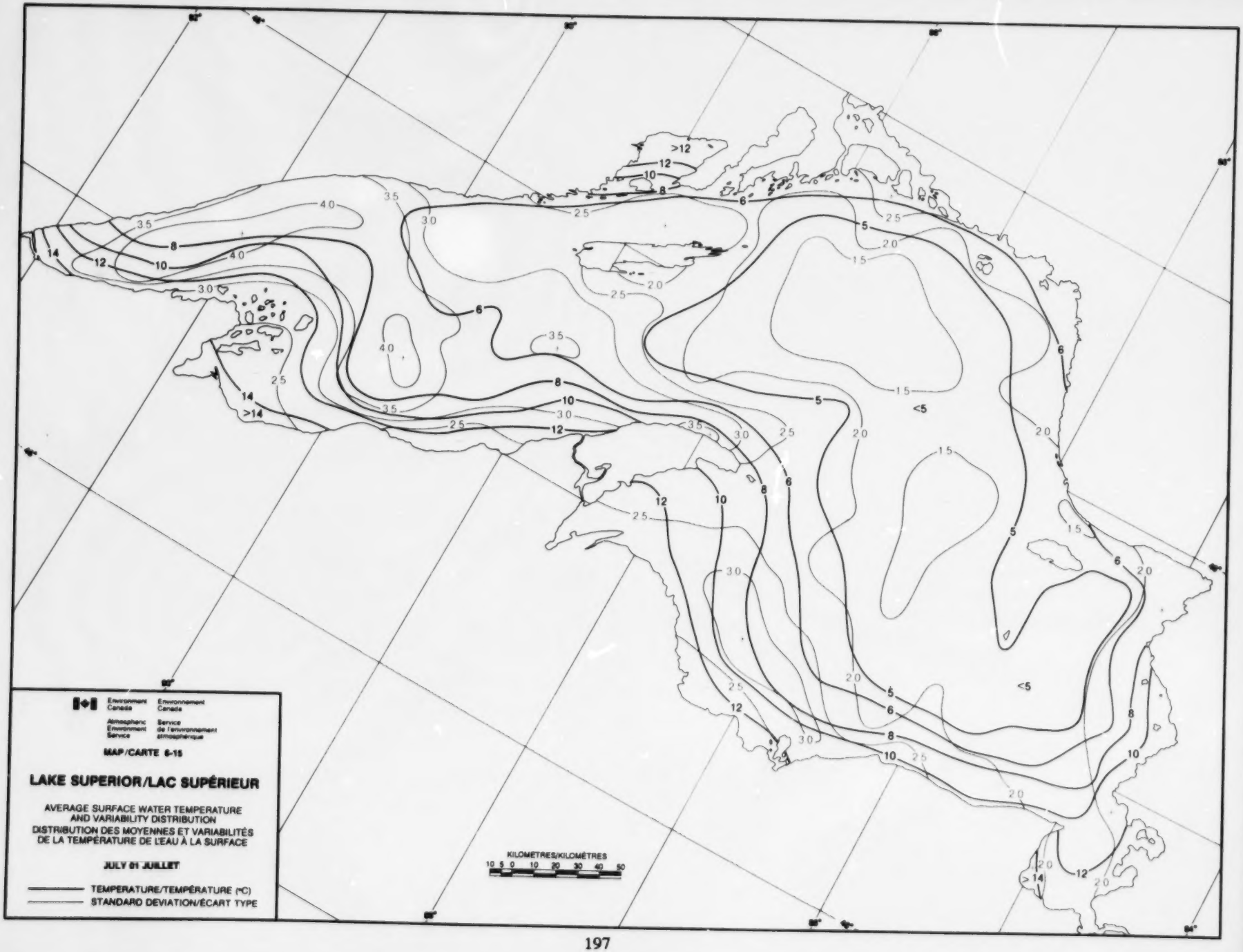
Given the large temperature and density gradients in the water mass, a complex current structure can be expected at this time. The variability highs located in the vicinity of GP86, GP65, GP69, and from GP115 southeast to GP147 may indicate areas of periodic strong current divergence, convergence, or eddying. The 4.0+ variability high in the western arm of the lake is associated with the upwelling zone along the northwest shore.

Carte 6-15 1er juillet

La stratification estivale s'établit dans tout le lac, bien qu'elle soit plutôt mince dans le bassin est où la température de surface est inférieure à 5 degrés. Après l'établissement de la stratification, le brassage vertical convectif cesse et la chaleur migre vers les couches plus profondes sous l'effet du brassage turbulent engendré par le vent et les courants internes. L'énergie solaire descendante, qui est la plus intense à cette période de l'année, est donc largement emprisonnée dans la couche superficielle stratifiée. Des gradients de température très puissants sont rapidement créés. Si la couche superficielle stratifiée vient de se former et est donc encore très mince, elle peut être effacée en peu de temps par le brassage dû au vent.

L'importante variabilité des températures montre bien la dépendance des températures de surface sur les conditions météorologiques, essentiellement le vent et la nébulosité. Un examen attentif des configurations de température et de variabilité révèle que la gamme normale de variation des températures peut descendre jusqu'à 2,5 à 3 degrés dans les régions les plus profondes. On peut donc en conclure qu'il n'est pas inhabituel que la stratification estivale à la grandeur du lac soit retardé après le 1er juillet.

Étant donnés les gradients marqués de température et de densité dans la masse d'eau, on peut s'attendre à ce que la structure des courants soit complexe à cette époque. Les maximums de variabilité situés près de PG86, PG65, PG69 et entre PG115 vers le sud-est jusqu'à PG147 peuvent correspondre à des zones où se produisent périodiquement des tourbillons et des divergences et des convergences de courants marquées. Le maximum de variabilité (4,0+) que l'on constate dans le bras ouest du lac est associé à la zone de remontée d'eau qui s'observe le long de la rive nord-ouest.


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-15
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JULY 01 JUILLET
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50

Map 6-16 July 16

The mid-July surface temperature pattern shows progressive development of a strong gradient structure. Normally, summer stratification is established throughout the lake, but the configuration of the temperature and variability fields indicates that it is possible for stratification to be delayed past mid-July (i.e., surface temperature can be less than 4 degrees) in the north-central deep water region in the vicinity of GP20.

Upwelling regions are discernible by higher temperature variability in the vicinity of GP39, GP23, from GP2 to GP4, and in the extensive variability high (3.5 to 4.0+ degrees) along the northwest shore. In addition, high variability is found in the zone traversed by a counterclockwise current along the north shore. Funnelling of this current in the channel between Thunder Bay and Isle Royale is indicated by the variability pattern and 3.0+ variability high in the vicinity of GP26.

The variability high (4.0+) in the vicinity of GP68 is located in a convergence zone of the strong Keweenaw current. The well-defined variability high (3.5 to 4.0+) centred on GP134 overlies a region of complicated current structure, involving convergence and eddying.

Map 6-17 August 1

Summer stratification is definitely established throughout the lake. The closed isotherm pattern in the eastern half of the lake is organized roughly in a depth-related fashion. In the western arm, the temperature gradient is shaped by upwelling and eastward transport of surface water by the prevailing westerly winds. Surface temperature gradients are starting to decrease in the thickening epilimnion, but temperature variability is large over-all, from 2.0 to 4.0 degrees.

The large surface temperature variability points to the year-to-year differences in the amount of heat available for warming of the epilimnion. Bennett [29] calculates that 54 percent of the annual heat income is used to raise the temperature of the large, cold water mass to the temperature of maximum density. Thus, if the spring - early summer rate of heat input is slow and formation of summer stratification is delayed, less energy is available to heat the epilimnion, because the solar energy source is, at this time, already in seasonal decline. The opposite is the case, if summer stratification is attained early in the season.

Carte 6-16 16 juillet

La configuration des températures de surface de la mi-juillet illustre le développement progressif d'un gradient considérable. Normalement, la stratification estivale est établie à la grandeur du lac, mais la configuration du champ de températures et de variabilité montre qu'il est possible que la stratification soit retardée jusqu'après la mi-juillet (c.-à-d., que la température de surface peut être inférieure à 4 degrés) dans la région profonde du centre nord, près de PG20.

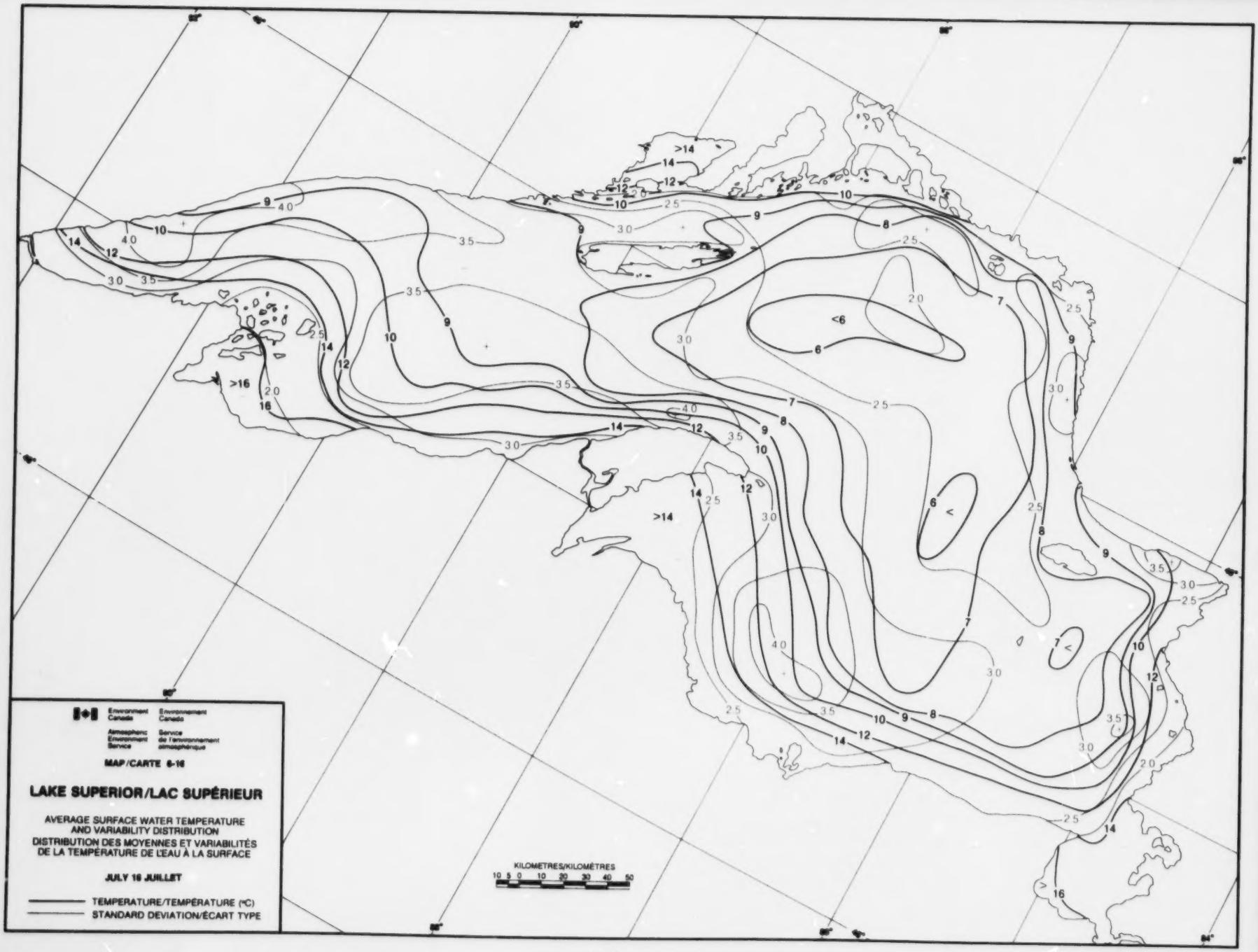
Les régions de remontée d'eau sont révélées par des variabilités plus élevées près de PG39, PG23, entre PG2 et PG4 et par le large maximum de variabilité (3,5 à 4,0+ degrés) qui caractérise la rive nord-ouest. De plus, on constate une variabilité élevée dans la zone traversée par un courant qui circule le long de la rive nord en sens anti-horaire. Le rétrécissement de ce courant dans le canal entre la baie Thunder et l'Isle Royale est révélé par la configuration de variabilité de 3,0+ près de PG26.

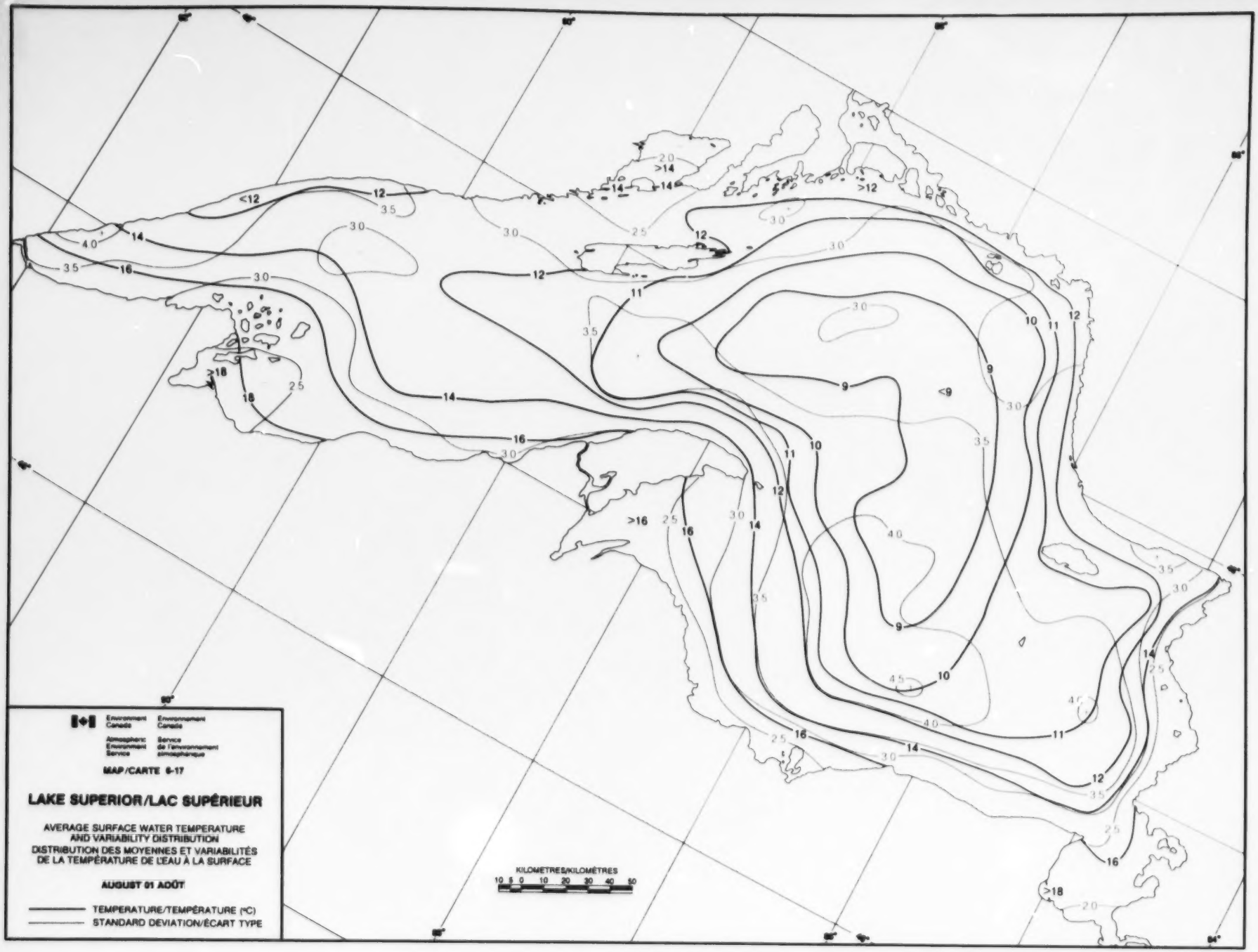
Le maximum de variabilité (4,0+) qui s'observe au voisinage de PG68 est situé dans une zone de convergence du fort courant Keweenaw. Le maximum de variabilité bien défini (3,5 à 4,0+) centré sur PG134 correspond à une région où la structure des courants est compliquée (convergence et tourbillons).

Carte 6-17 1er août

La stratification estivale est définitivement établie à la grandeur du lac. La configuration des isothermes fermés dans la portion est du lac est à peu près fonction de la profondeur. Dans le bras ouest, le gradient thermique est façonné par les retombées d'eau et le transport vers l'est d'eau de surface sous l'effet du vent d'ouest dominant. Les gradients des températures de surface commencent à décroître dans l'épilimnion qui s'épaissit, mais la variabilité est marquée globalement (2,0 à 4,0 degrés).

L'importante variabilité montre bien les différences interannuelles dans les quantités de chaleur disponibles pour réchauffer l'épilimnion. D'après Bennett [29], 54 pour cent de l'apport de chaleur annuel sert à augmenter la température de cette grande masse d'eau froide pour que celle-ci atteigne une densité maximale. Ainsi, si le taux d'apport de chaleur du printemps et du début de l'été est lent et que la formation de la stratification estivale soit retardée, il reste moins d'énergie pour réchauffer l'épilimnion lorsque la surface d'énergie solaire est, à cette période de l'année, déjà en déclin. A l'opposé, la stratification estivale se produit tôt dans la saison.


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-16
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
JULY 16 JUILLET
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-17
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
AUGUST 01 AOÛT
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50

Due to the reduced vertical temperature gradient in the upper layer of the maturing epilimnion, the north shore upwelling zones are not as conspicuous in the temperature variability field as in mid-July (compare to Map 6-16). The upwelling zone along the northwest shore is detectable by the less than 12-degree temperature and larger variability (3.5 to 4.0 degrees). The variability high (4.0 to 4.5+ degrees) centred on GP119 probably results from changes in the wind-induced surface circulation: warmer surface water is carried into the area by southerly winds; warmer surface water is stripped from the area and colder sub-surface water is exposed by north and northwest winds.

Map 6-18 August 16

The surface temperature has attained summer maximum values. In the eastern basin, the isotherm pattern is depth-related. In the western basin the north to south temperature gradient is shaped by upwelling along the northwest shore and southward transport of surface water by the prevailing westerly winds.

Surface temperature gradients are diminishing in the maturing epilimnion and the north shore upwelling zones are no longer as conspicuous in the isotherm and isopleth patterns. Relatively large temperature variability persists throughout, due to the year-to-year differences in heat input rates, as explained in the discussion of Map 6-17.

Map 6-19 September 1

The lake-wide average temperature has decreased only by 0.5 degrees since the mid-August maximum. By comparing Maps 6-18 and 6-19 the following can be observed: a) temperature has continued to rise in the deep regions of the eastern basin and has remained unchanged along the north shore; b) temperature has decreased by about 1 degree in the western basin and in the shallower regions along the south shore.

The above changes indicate that while the lake is starting to experience a net radiative heat loss, heat is still being added to the deeper layers. Indeed, due to the later attainment of the summer maximum surface temperature in the deep central region, the time of the lake-wide summer maximum can occur as late as the first week of September, if the total seasonal heat input has been reduced during a cool summer.

Puisque le gradient de température verticale est réduit dans la couche supérieure de l'épilimnion en formation, les zones de remontée d'eau de la rive nord ne se reflètent pas autant dans le champ de variabilité qu'à la mi-juillet (comparer à la carte 6-16). La zone de remontée le long de la rive nord-ouest est perceptible par la température inférieure à 12 degrés et la variabilité plus marquée (3,5 à 4,0+ degrés). Le maximum de variabilité (4,0 à 4,5+ degrés) centré sur PG119 résulte probablement de variations de la circulation de surface engendrée par le vent (de l'eau de surface plus chaude est amenée dans la région sous l'effet de vents du sud). L'eau de surface plus chaude quitte la région et de l'eau de subsurface plus froide y est exposée sous l'effet de vents du nord et du nord-ouest.

Carte 6-18 16 août

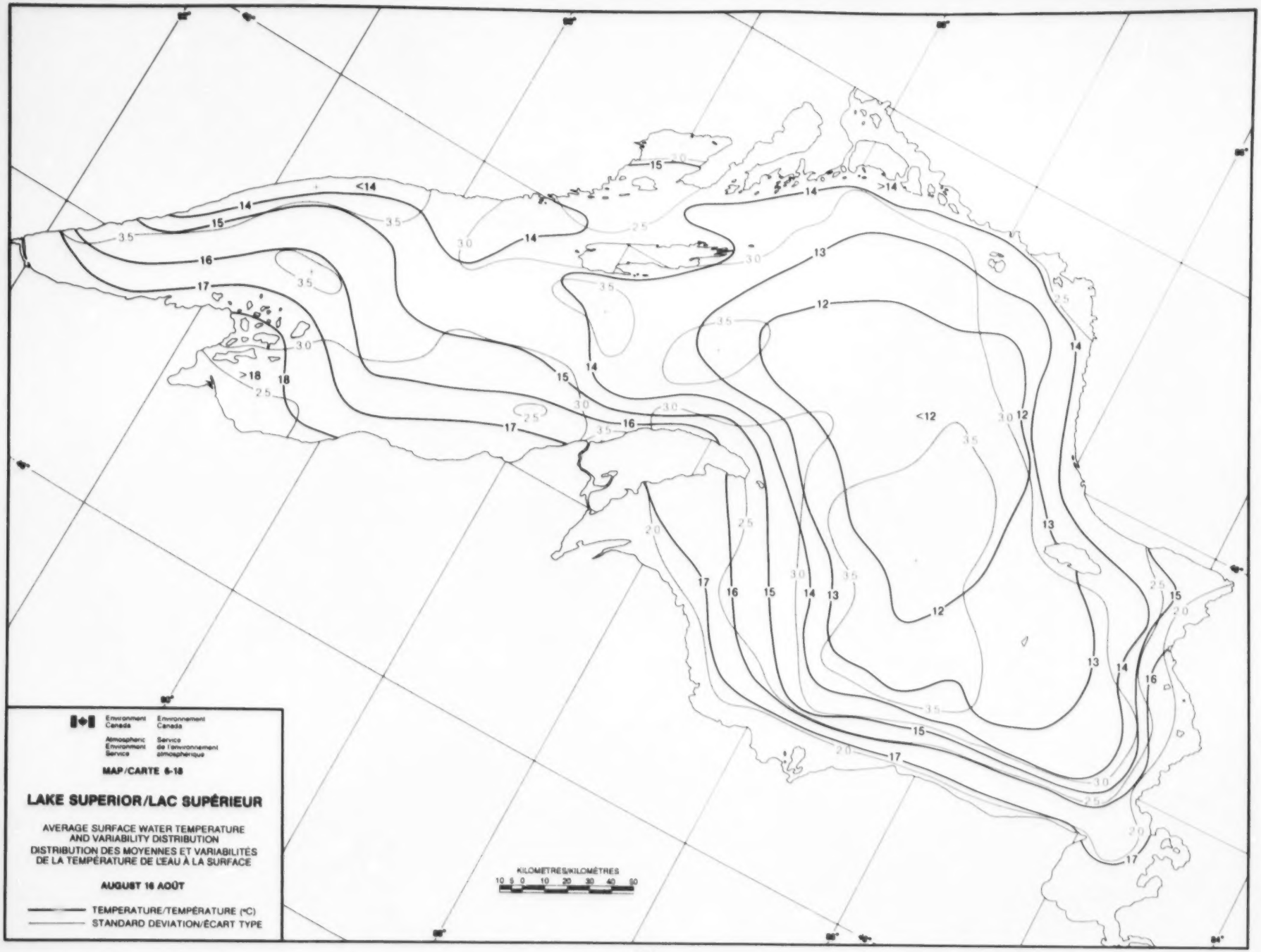
La température de surface a atteint son maximum estival. Dans le bassin est, la configuration des isothermes est fonction de la profondeur. Dans le bassin ouest, le gradient de température nord-sud est façonné par la remontée d'eau qui s'observe le long de la rive nord-ouest et le transport vers le sud sous l'effet des vents d'ouest dominants.

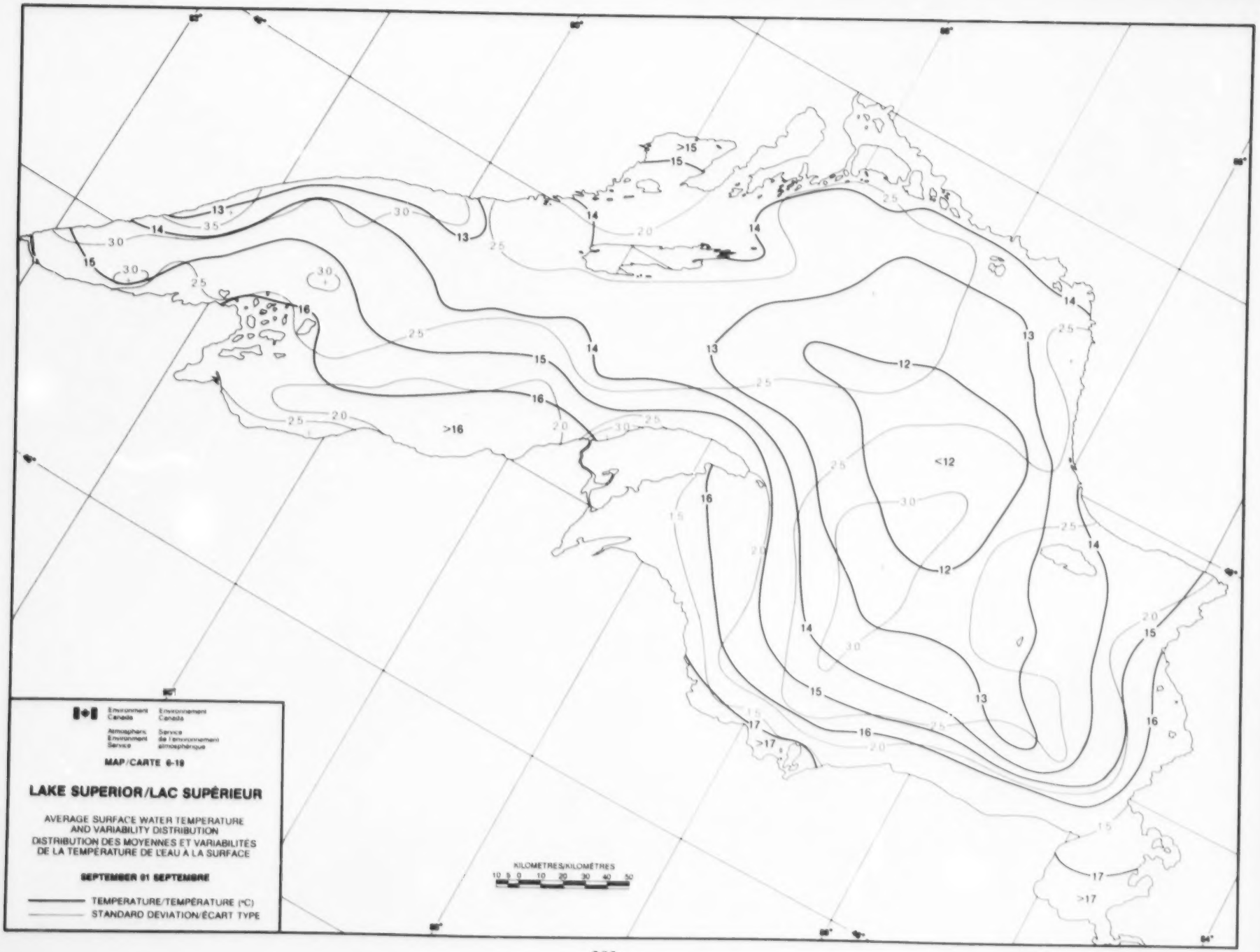
Les gradients de température de surface diminuent dans l'épilimnion en développement et les configurations des isothermes et des isoplètes ne reflètent plus aussi clairement les zones de remontée d'eau de la rive nord. Une variabilité des températures relativement importante persiste partout, à cause des différences interannuelles dans les taux de chaleur (voir la discussion de la carte 6-17).

Carte 6-19 1er septembre

La température moyenne globale du lac a diminué à peine 0,5 degré depuis le maximum enregistré à la mi-août. En comparant les cartes 6-18 et 6-19, on observe : a) que la température va continuer à s'élever dans les régions profondes du bassin est mais qu'elle est demeurée inchangée le long de la rive nord; b) que la température a diminué d'environ 1 degré dans le bassin ouest et dans les régions les moins profondes qui bordent la rive sud.

Ces variations révèlent le fait que bien que le lac commence à subir une perte nette de chaleur par rayonnement, les couches les plus profondes absorbent encore de la chaleur. En fait, parce que dans la région centrale profonde, la température de surface atteint son maximum estival plus tard, le maximum estival global pour tout le lac peut se produire aussi tard qu'à la première semaine de septembre, si l'apport total de chaleur saisonnier a été réduit à cause d'un été frais.


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-18
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
AUGUST 16 AOÛT
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 60
<14
>14
>18
<12


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-19
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
SEPTEMBER 01 SEPTEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
>15
15
14
13
12
<12
>16
>17
17
16
25
30
20

Map 6-20 September 16

Radiative heat loss to the atmosphere and continuing mixing in the surface layer produces a rapid drop in surface temperature (2 degrees) from beginning-of-month values. The structures of the temperature and variability fields remain essentially unchanged from the summer. A closed-isotherm, depth-related temperature pattern, with the largest variability in the south-central region, persists in the eastern basin. A north-south gradient, dominated by upwelling along the northwest shore is maintained in the western basin.

Map 6-21 October 1

Increased convective and turbulent mixing is breaking down stratification in the cooling epilimnion and decreasing the surface temperature and variability gradients. The surface temperature structure is tending toward a northwest-southeast wind-shaped gradient, with upwelling along the northwest shore and warmest water impounded on the southeast shore.

Map 6-22 October 16

Surface temperature gradients and temperature variability continue to decrease as convective and turbulent mixing penetrate deeper into the water mass, breaking down the remaining stratification and bringing on near-isothermal conditions.

The surface temperature gradient is shaped by the prevailing westerly winds. The warmer surface water is driven southeastward to be impounded along the south and east shores of the lake. The westward protrusion of the 9-degree isotherm along the north shore is indicative of the westward flow of a compensatory return current.

Temperature variability is rather uniform throughout, at 1.5+/- degrees, and the isopleth pattern shows a random structure.

Map 6-23 November 1

A flat surface temperature gradient and small variability range (from 1.0- to 1.5+ degrees) prevail in the well-mixed near-isothermal surface layer. The isotherm pattern is similar to that of mid-October (Map 6-22). The location

Carte 6-20 16 septembre

Les pertes de chaleur atmosphérique par rayonnement et le brassage continu dans la couche superficielle produisent une baisse rapide des températures de surface (2 degrés) par rapport au début du mois. Les structures du champ de température et de variabilité demeurent essentiellement identiques à celles de l'été. Dans le bassin est, on constate une configuration des températures en isothermes fermés fonction de la profondeur avec la variabilité la plus importante dans la région du centre-sud. Dans le bassin ouest se maintient un gradient nord-sud dominé par une remontée d'eau le long de la rive nord-ouest.

Carte 6-21 1er octobre

Sous l'effet du brassage convectif et turbulent accru, la stratification se dissipe dans l'épilimnion en refroidissement et les gradients des températures de surface et de variabilité diminuent. La température de surface tend à adopter une gradient nord-ouest-sud-est façonné par le vent avec remontée d'eau le long de la rive nord-ouest et concentration d'eau plus chaude sur la rive sud-est.

Carte 6-22 16 octobre

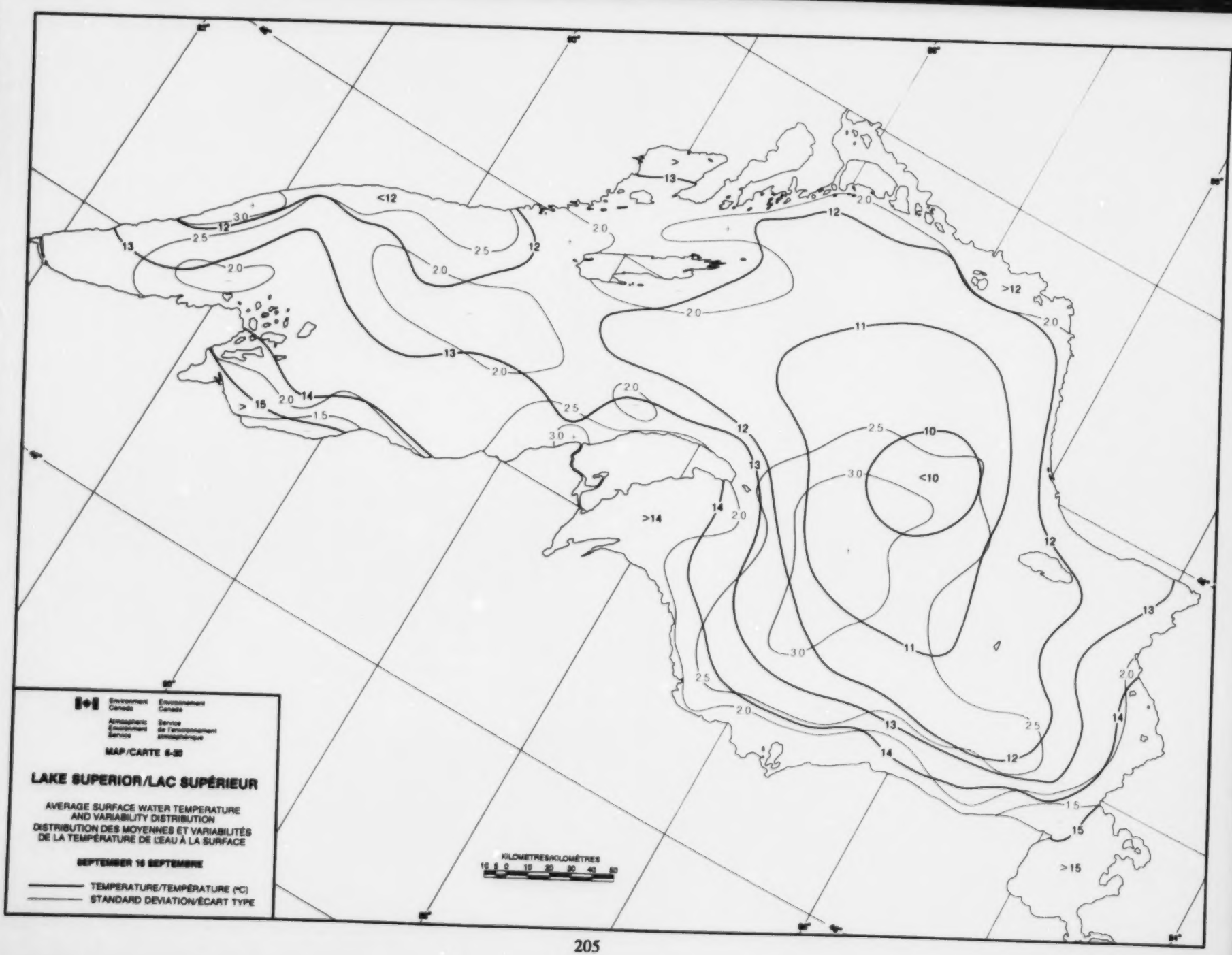
Les gradients de températures de surface et de variabilité continuent à diminuer à mesure que le brassage par convection et la turbulence s'exerce de plus en plus profondément dans la masse d'eau, ce qui brise la stratification restante et entraîne des conditions quasi-isothermes.

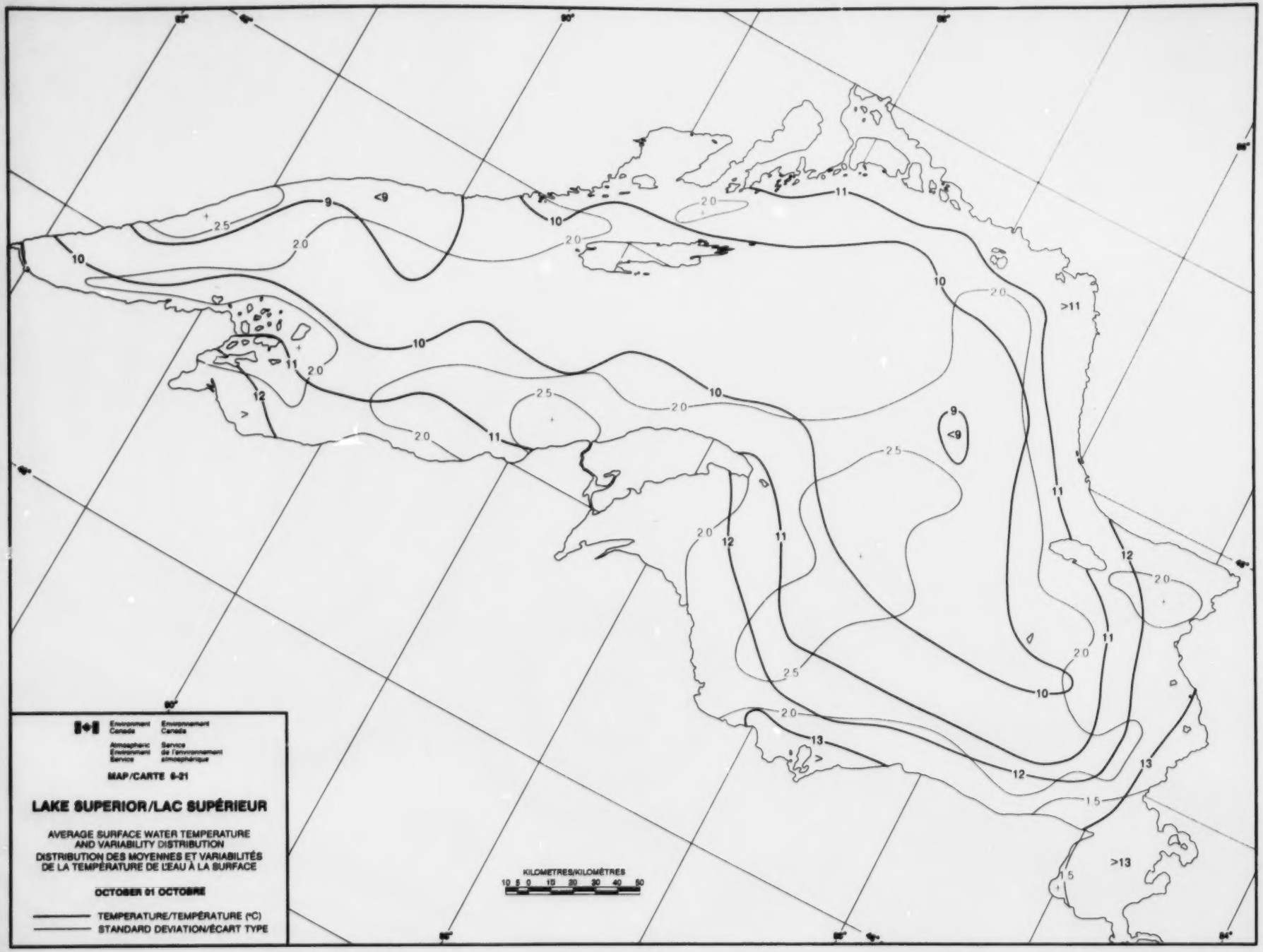
Le gradient des températures de surface est modelé par les vents d'ouest dominants. L'eau de surface plus chaude est poussée vers le sud-est et vient buter contre les rives est et sud du lac. Le prolongement vers l'ouest de l'isotherme de 9 degrés le long de la rive nord est révélateur d'un courant de retour vers l'ouest.

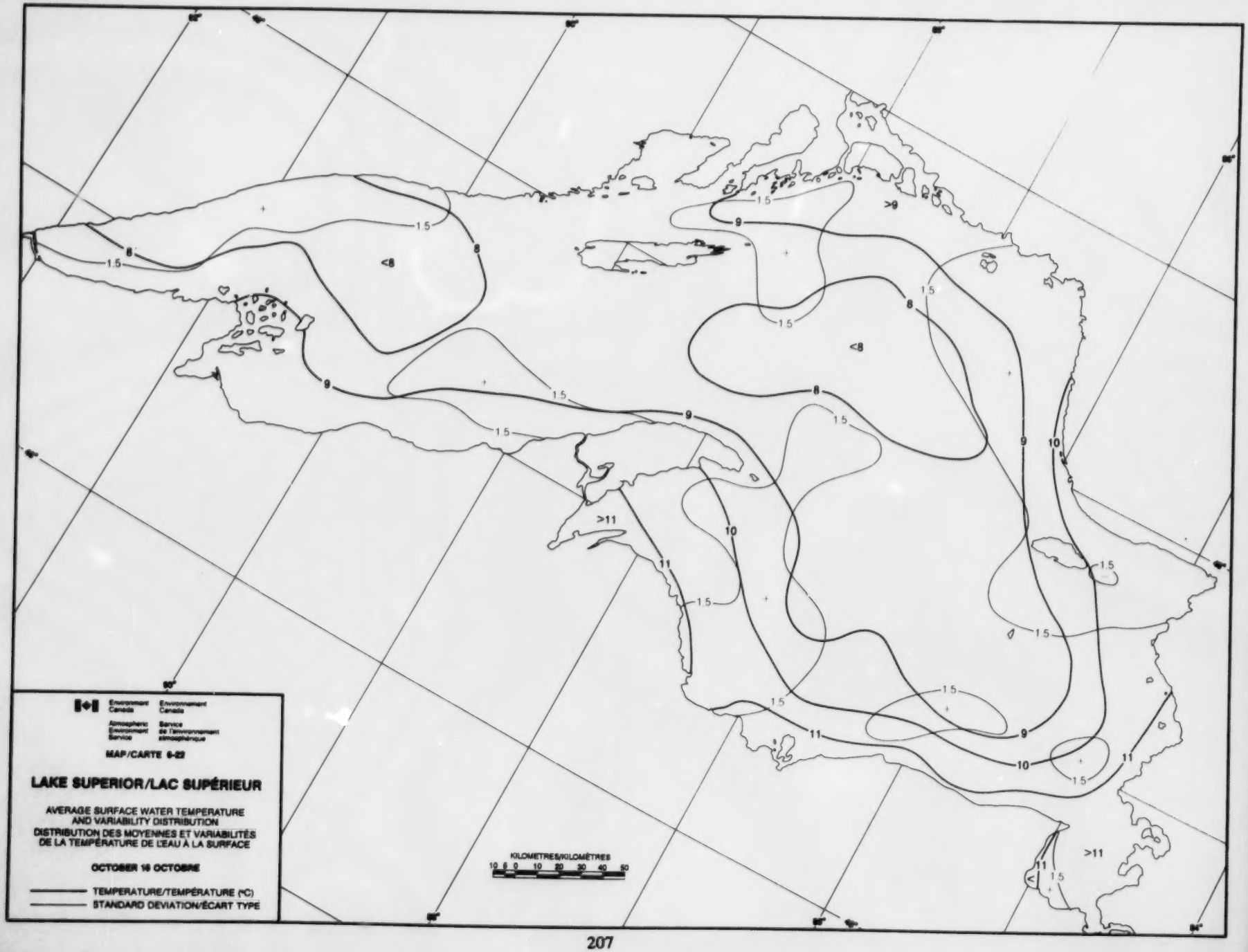
La variabilité de température est plutôt uniforme à la grandeur du lac (1,5+/- degré) et la structure des isoplètes a l'air aléatoire.

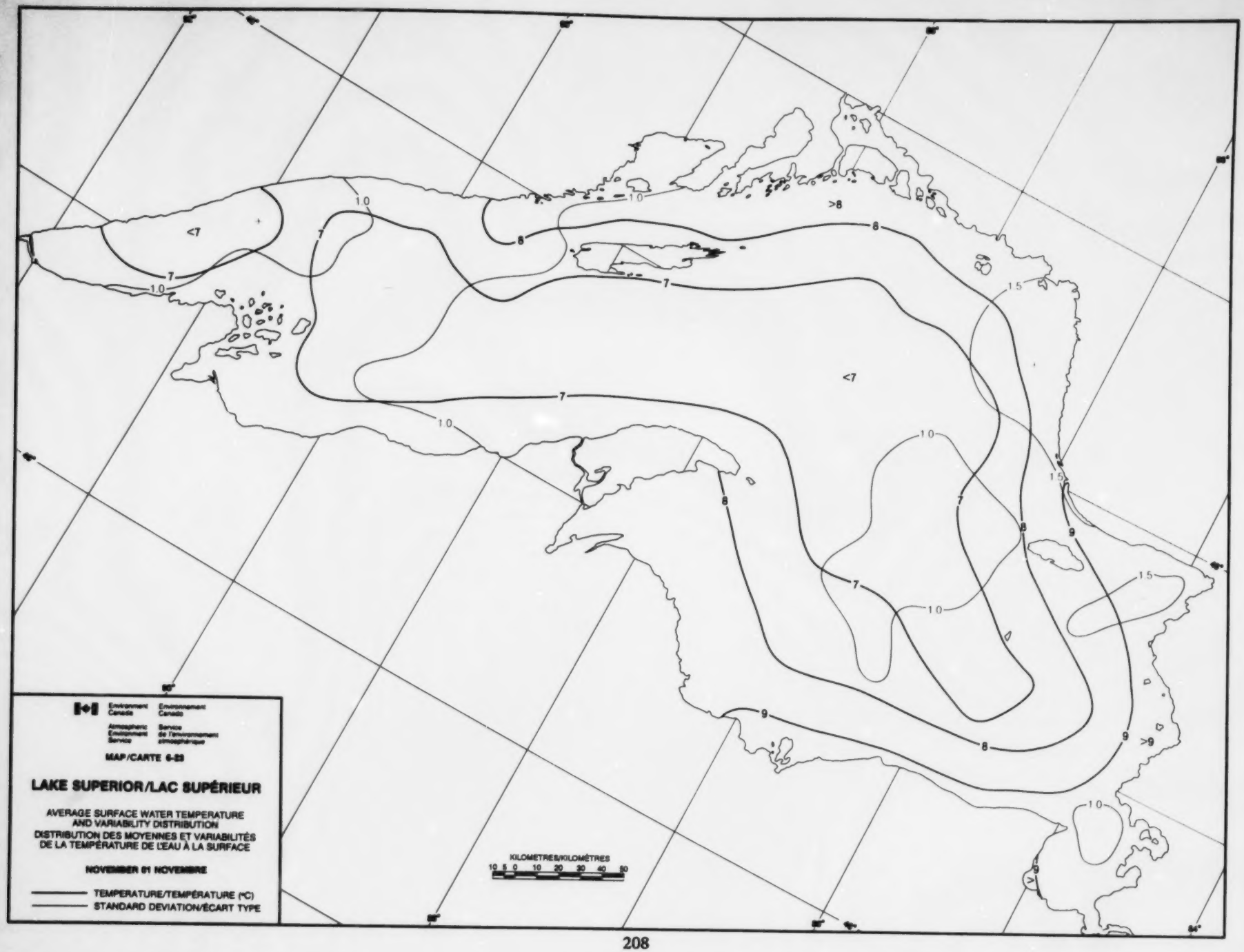
Carte 6-23 1er novembre

Le gradient des températures de surface est plat et la variabilité faible (1,0- à 1,5+ degré) dans la couche superficielle bien mélangée et quasi-isotherme. La configuration des isothermes est semblable à celle de la mi-octobre


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-SD
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
SEPTEMBER 16 SEPTEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
<12
>12
<10
>14
>15


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-21
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
OCTOBER 01 OCTOBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
<9
9
10
11
12
13
>11
>13
2.5
2.0
1.5


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-22
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
OCTOBER 16 OCTOBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
<8
8
9
10
11
>9
>11
1.5


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-23
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
NOVEMBER 01 NOVEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
<7
>8
>9
7
8
9
10
15

of the 9-degree isotherm indicates impounding of the warmest water in the southeast end of the lake by strong northwest winds. A return flow along the north shore is indicated by the westward protrusion of the 8-degree isotherm in the vicinity of GP44.

Map 6-24 November 16

At this stage in the fall overturn process, convective mixing has penetrated to great depth, producing near-isothermal conditions in the entire water mass [31]. This condition is also evident in the flat surface temperature and variability fields. However, control of surface circulation by the prevailing westerly winds can still be discerned in the isotherm pattern. Eastward transport and impounding of warmer surface water on the east shore is indicated by the alignment the 7-degree isotherm. A counterclockwise return current along the north shore can be inferred from the westward extension of the 6-degree isotherm.

Map 6-25 December 1

Fall overturn is nearing completion. Heat is lost uniformly from the isothermal and well-mixed water mass. Consequently, the surface temperature field is almost featureless. The efficient mixing process also keeps surface temperature variability to a very small range of 0.5+/- degrees. The warmest water (5+ degrees) is impounded in the east end by the prevailing westerly winds. The first signs of onset of winter stratification (temperature less than 4 degrees) appear in Thunder Bay, south of Isle Royale (GP27), and in some shallow areas on the south shore.

Map 6-26 December 16

The water mass has cooled to the temperature of maximum density (4 degrees) and the fall overturn process is completed. Slightly warmer water (4+ degrees) is found in the deepest region of the eastern basin. Winter stratification has started in the northern bays and in the shallower areas of the near-shore zone. Temperature variability remains in a narrow range of 0.5+/- degrees.

(carte 6-22). L'emplacement de l'isotherme de 9 degrés montre que les eaux les plus chaudes sont poussées vers l'extrémité sud-ouest du lac sous l'effet de forts vents du nord-ouest. Un écoulement de retour le long de la rive nord correspond à l'étirement vers l'ouest de l'isotherme de 8 degrés près de PG44.

Carte 6-24 16 novembre

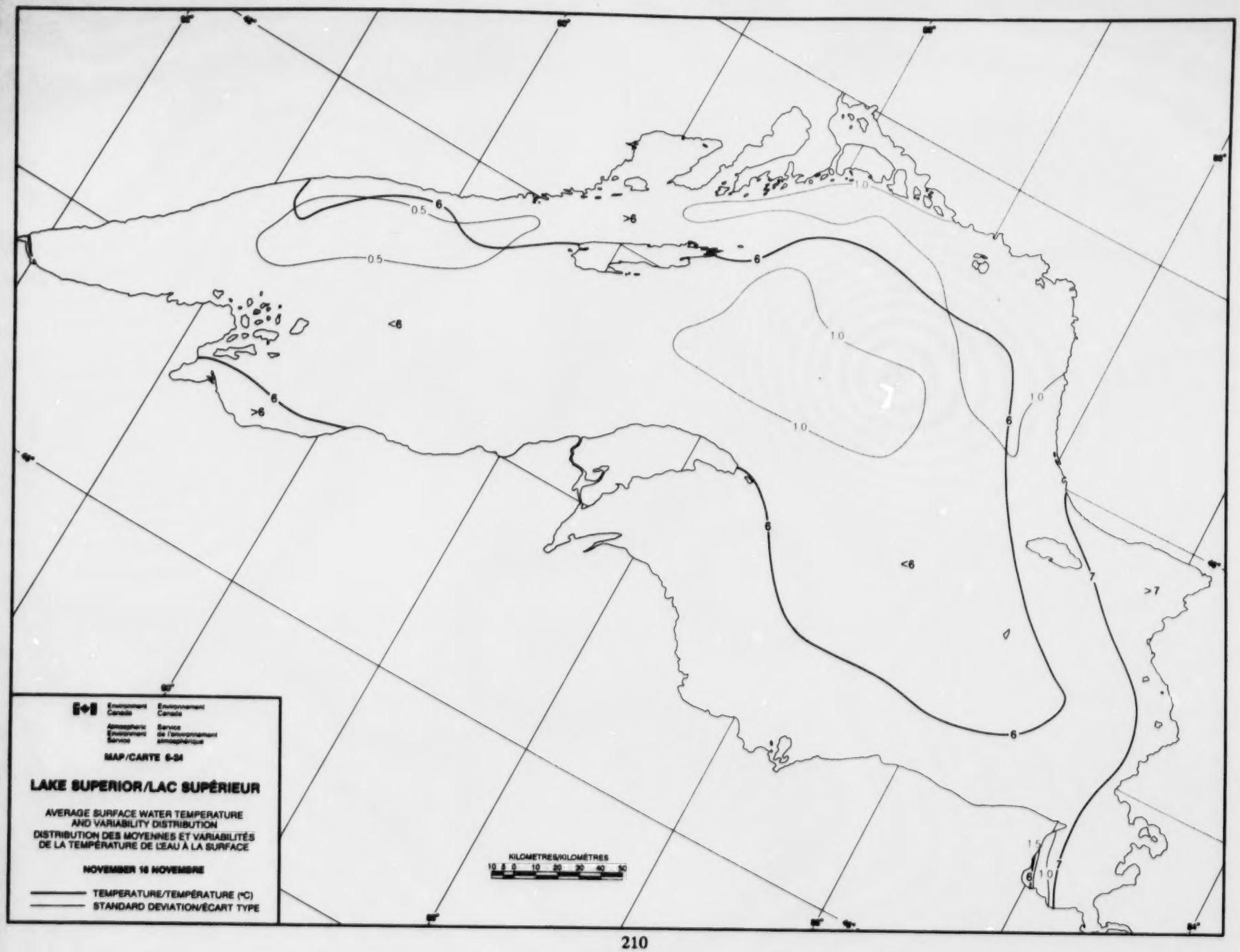
A cette étape du processus de renversement automnal, le brassage convectif s'effectue en profondeur, entraînant des conditions quasi-isothermes dans toute la masse d'eau [31]. C'est bien ce que montrent aussi les champs linéaires de variabilité et de températures de surface. Cependant, le contrôle de la circulation de surface par les vents d'ouest dominants est toujours apparent dans la configuration des isothermes. L'isotherme de 7 degrés devient plutôt linéaire, ce qui témoigne du transport vers l'est des eaux de surface plus chaudes qui seront bloquées par la rive ouest. La présence d'un courant de retour en sens anti-horaire le long de la rive nord peut être déduite du prolongement vers l'ouest de l'isotherme de 6 degrés.

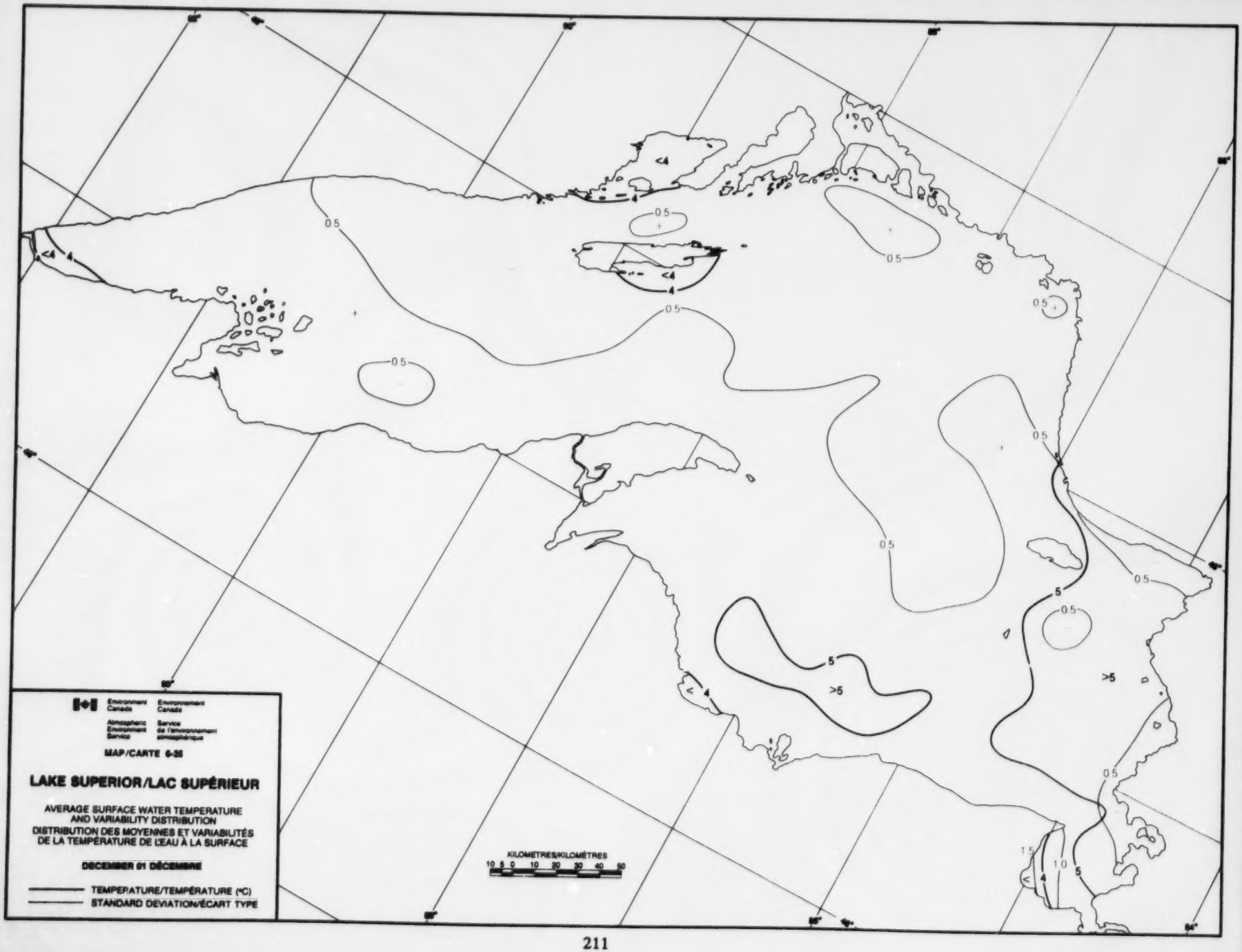
Carte 6-25 1er décembre

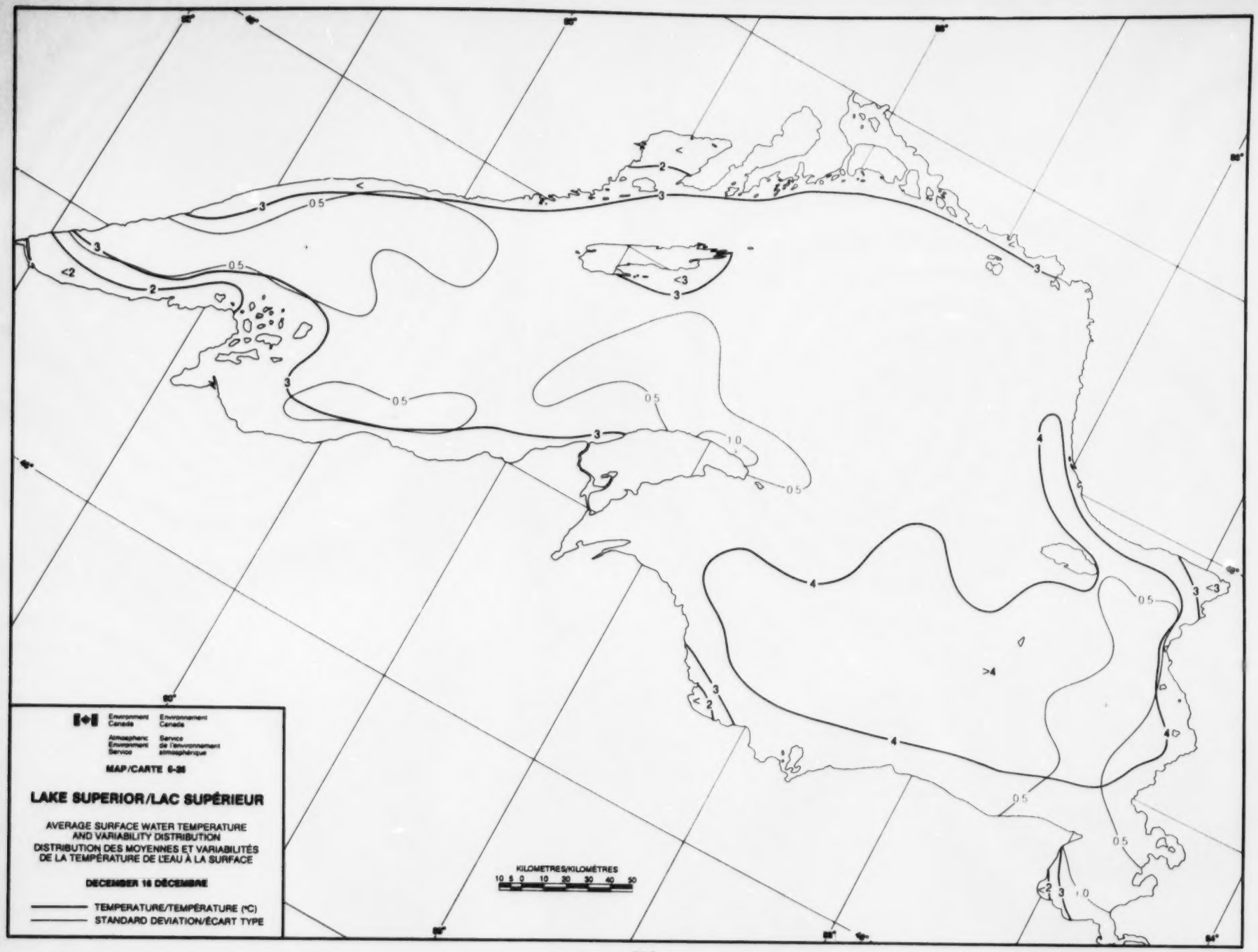
Le renversement automnal s'achève. La masse d'eau bien mélangée de l'isotherme perd de la chaleur de façon uniforme. En conséquence, le champ de températures de surface ne présente pas vraiment de traits particuliers. Le processus de brassage efficace maintient aussi une variabilité très faible (0,5+/-). L'eau la plus chaude (5+ degrés) est concentrée à l'extrémité est sous l'effet des vents d'ouest dominants. Les premiers signes du début de la stratification hivernale (température inférieure à 4 degrés) apparaissent dans la baie Thunder, au sud de l'Isle Royale (PG27) et dans certaines zones peu profondes de la rive sud.

Carte 6-26 16 décembre

La masse d'eau a atteint la température de densité maximale (4 degrés) et le processus de renversement automnal est achevé. On constate la présence d'eau légèrement plus chaude (4+ degrés) dans la région la plus profonde du bassin est. La stratification hivernale a débuté dans les baies du nord et dans les zones littorales les moins profondes. La variabilité des températures occupe toujours une gamme étroite (0,5+/- degré).


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-24
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
NOVEMBER 16 NOVEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
<6
>6
>7
6
7
0.5
1.0
1.5


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-35
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
DECEMBER 01 DÉCEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50
<4
0.5
5
>5
1.5
1.0


Environment Canada
Environnement Canada
Atmospheric Environment Service
Service de l'environnement atmosphérique
MAP/CARTE 6-86
LAKE SUPERIOR/LAC SUPÉRIEUR
AVERAGE SURFACE WATER TEMPERATURE AND VARIABILITY DISTRIBUTION
DISTRIBUTION DES MOYENNES ET VARIABILITÉS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU À LA SURFACE
DECEMBER 16 DÉCEMBRE
TEMPERATURE/TEMPÉRATURE (°C)
STANDARD DEVIATION/ÉCART TYPE
KILOMETRES/KILOMÈTRES
10 5 0 10 20 30 40 50

SECTION 7

REFERENCES

RÉFÉRENCES

SECTION 7 REFERENCES/RÉFÉRENCES

[1] Irbe, J.G. (1972): An operational program for measuring surface water temperature by airborne radiation thermometer (ART) survey; *Proc. 1st Canadian Symp. on remote sensing;* pp. 183-200.

[2] Irbe, J.G., R.K. Cross and A. Saulesleja (1982): Remote sensing of surface water temperature on the Great Lakes and off the Canadian east coast; Northwest Atlantic Fisheries Organization, Scientific Council Studies No. 4; pp. 31-39. *Proc. Symp. on Environment Conditions in the Northwest Atlantic During the 1970-79 Decade. Special Session on Remote Sensing,* Dartmouth, N.S., Canada, Sept. 14-16th, 1981.

[3] Irbe, G.J. and A. Saulesleja (1982): An operational program for monitoring surface temperatures of lakes and coastal-zone waters in Canada from polar-orbiting satellite infrared data; *Internat. Soc. of Photogrammetry and Remote Sensing; Internat. Archives of ISPRS,* Vol. 24-VII/1; pp. 717-724.

[4] Millar, F.G. (1952): Surface temperature of the Great Lakes; *J. Fish. Res. Board Can.*, 9(7), pp. 329-376.

[5] Webb, M.S. (1970): Monthly mean surface temperature for Lake Ontario, as determined by aerial survey; *Water Resour. Res.*, Vol. 6, No. 3; pp. 943-956.

[6] Webb, M.S. (1972): Surface water temperature and ice regimes of Georgian Bay; *Water Resour. Res.*, Vol. 8, No. 2; pp. 372-389.

[7] Webb, M.S. (1974): Surface temperature of Lake Erie; *Water Resour. Res.*, Vol. 10, No. 2; pp. 199-210.

[8] Webb, M.S. (1975): Mean monthly surface temperatures of Lake Ontario from April, 1972 to March, 1973 (IFYGL); *Proc. 17th Conf. Great Lakes Res.*; pp. 471-482.

[9] Saulesleja, A. (1986): *Great Lakes Climatological Atlas*; Canadian Government Publishing Centre, Ottawa, Canada.

[10] Assel, R.A. (1983): *Lake Superior bathythermograph data: 1973-79*; NOAA data report ERL GLERL-25.

[11] Shaw, R.W. and J.G. Irbe (1972): Environmental adjustments for the airborne radiation thermometer measuring water surface temperature; *Water Resour. Res.*, Vol. 8, No. 5; pp. 1214-1225.

[12] Harrington, M.W. (1895): Surface currents of the Great Lakes, as deduced from the movements of bottle papers during the season of 1892, 1893, and 1894; *Bull. B*, U.S. Weather Bur., Washington, D.C.

[13] Csanady, G.T. (1977): Intermittent "full" upwelling in Lake Ontario; *J. Geophys. Res.*, Vol. 82, No. 3, pp. 397-419.

[14] Hutchinson, G.E. (1957): *A treatise on limnology, Vol.1*; John Wiley and Sons, Inc., New York, N.Y.; 1015 p.

[15] Derecki, J.A. (1976): *Hydrometeorology: climate and hydrology of the Great Lakes; Section 4, Appendix 4: Limnology of lakes and embayments*; Great Lakes Basin Framework Study, Great Lakes Basin Commiss., Ann Arbor, Michigan.

[16] Stewart, K.M. (1973): Winter conditions in Lake Erie with reference to ice and thermal structure and comparison to Lakes Winnebago (Wisconsin) and Mille Lacs (Minnesota); *Proc. 16th Conf. Great Lakes Res.*; pp. 845-857.

[17] Environment Canada (1973): *Summary Data Atlas of Lake Ontario and Lake Erie: Summarization of Temperature Data and Oxygen Content by Months for Lake Ontario and Lake Erie, 1960-1970*; CCIW Paper No. 10, Canada Centre for Inland Waters, Burlington, Ontario.

[18] Rodgers, G.K. (1965): The thermal bar in the Laurentian Great Lakes; *Proc. 8th Conf. Great Lakes Res.*; pp. 358-363.

[19] Rodgers, G.K. and G.K. Sato (1970): Factors affecting the progress of the thermal bar of spring in Lake Ontario; *Proc. 13th Conf. Great Lakes Res.*; pp. 942-950.

[20] Rodgers, G.K. (1966): The thermal bar in Lake Ontario, spring 1965 and winter 1965-66; *Proc. 9th Conf. Great Lakes Res.*; pp. 369-374.

[21] Liu, P.C., G.S. Miller, and J.H. Saylor (1976): *Water motion; Section 6, Appendix 4: Limnology of lakes and embayments*; Great Lakes Basin Framework Study, Great Lakes Basin Commiss., Ann Arbor, Michigan.

[22] Hartley, R.P. (1968): Bottom currents in Lake Erie; *Proc. 11th Conf. Great Lakes Res.*; pp. 398-405.

[23] Saylor, J.H. and G.S. Miller (1987): Studies of large-scale currents in Lake Erie, 1979-80; *J. Great Lakes Res.*, Vol. 13, No. 4, pp. 487-514.

[24] Schertzer, W.M., J.H. Saylor, F.M. Boyce, D.G. Robertson and F. Rosa (1987): Seasonal thermal cycle of Lake Erie; *J. Great Lakes Res.*, Vol. 13, No. 4, pp. 468-486.

[25] Assel, R.A., F.H. Quinn, G.A. Leshkevich, and S.J. Bolsenga (1983): *Great Lakes Ice Atlas*; NOAA, Great Lakes Environmental Research Laboratory, Ann Arbor, Michigan.

[26] Saylor, J.H. and G.S. Miller (1979): Lake Huron winter circulation; *J. Geophys. Res.*, Vol. 84, No. C6, pp. 3237-3252.

[27] Ayers, J.C., D.V. Anderson, D.C. Chandler, and G.H. Lauff (1956): *Currents and water masses of Lake Huron*; Univ. of Michigan, Great Lakes Research Inst., Tech. Paper No. 1.

[28] Matheson, D.H. and M. Munawar (1978); Lake Superior basin and its development: *J. Great Lakes Res.*, Vol. 4, No. 3-4, pp. 249-263.

[29] Bennett, E.B. (1978): Characteristics of the thermal regime of Lake Superior; *J. Great Lakes Res.*, Vol. 4, No. 3-4, pp. 310-319.

[30] Lam, D.C.L. (1978): Simulations of water circulations and chloride transports in Lake Superior for summer 1973; *J. Great Lakes Res.*, Vol. 4, No. 3-4, pp. 343-349.

[31] Assel, R.A. (1986): Fall and winter thermal structure of Lake Superior; *J. Great Lakes Res.*, Vol. 12, No. 4, pp. 251-262.